

Jiřincová: Technologické možnosti nakládání se silničními smetky

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ  
UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko – geologická fakulta**

Katedra environmentálního inženýrství

**TECHNOLOGICKÉ MOŽNOSTI NAKLÁDÁNÍ SE SILNIČNÍMI  
SMETKY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Autor:** Šárka Jiřincová

**Vedoucí bakalářské práce:** prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

**Ostrava 2020**

**VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA**

**Faculty of mining and geology**

Department of environmental engeneering

**TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES FOR STREET DUST  
MANAGEMENT**

Bachelor thesis

**Author:** Šárka Jiřincová

**Supervisor:** prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

**Ostrava 2020**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Katedra environmentálního inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Šárka Jiřincová**  
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 3904R005 Environmentální inženýrství  
Téma: **Technologické možnosti nakládání se silničními smetky**  
Technological possibilities for street dust management

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Prachové částice
  - 2.1 Rozdělení prachových částic
  - 2.2 Původ prachových částic – zdroje
  - 2.3 Chemické složení
3. Charakteristika oblasti
  - 3.1 Zdroje znečištění
  - 3.2 Klimatické podmínky
  - 3.3 Geochemie půd
  - 3.4 Urbanizovaná plocha
4. Metodika odběru vzorků
  - 4.1 Chemická analýza metodou RTG-fluorescence
  - 4.2 Velikost částic jako kritérium zdroje znečištění
  - 4.3 Stanovení vodorozpustného podílu a jeho složení
  - 4.4 Podíl biogenní hmoty v silničním prachu
5. Metody pro identifikaci zdrojů znečištění
  - 5.1 Index nabohacení
  - 5.2 Srovnání hodnot z různých oblastí (Olomouc x Ostravsko)
  - 5.3 Minerologická fázová analýza
  - 5.4 Optické metody
  - 5.5 Posypové materiály
6. Způsoby nakládání s uličními smetky
  - 6.1 Odhad množství
  - 6.2 Technologické možnosti odloučení posypových materiálů
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- Adamiec, E., Jarosz-Krzemińska, E. and Wieszała, R. (2016): Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environmental Monitoring and Assessment*. vol. 188, 369-375.
- De Vos, E. et al., (2006). *Geochemical Atlas of Europe Part 2: Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications Online*. Geological Survey of Finland. ISBN

951-690-960-4.

Gunawardana, C., Goonetilleke, A., Egodawatta, P., Dawes, L., and Kokot, S. (2012): Source characterization of road dust based on chemical and mineralogical composition. *Chemosphere*, vol. 87, p. 163-170.

Sýkorová, B., Raclavská, H., Matýsek, D., Kucbel, M., Raclavský, K. and Růžicková, J. (2017). Identification of pollution sources in the urban atmosphere. *Inzynieria Mineralna*, vol. 1, p. 147-152.

Yildirim, G., and Tokalioglu, S. (2016). Heavy metal speciation in various grainsizes of industrially contaminated street dust using multivariate statistical analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 124, p. 369-376.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020



doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

***Prohlášení autora bakalářské práce***

- Celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh, jsem vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).

- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové (bakalářské) práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- Souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

***V Ostravě dne 25.8.2020***

***Šárka Jiřincová***



## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala vedoucí mé bakalářské práce, paní prof. Ing. Heleně Raclavské, CSc. za navedení správným směrem a za cenné odborné rady. Dále bych ráda poděkovala za poskytnutá data mojí vedoucí a jejímu týmu. Mé poděkování patří samozřejmě i mé rodině, která mě od začátku až do konce plně podporovala.

## ANOTACE

V mé bakalářské práci se zabývám problematikou prachu v okolí silnic v městě Ostrava. V první části své bakalářské práce se zabývám teoretickým pojetím prachových částic, poléťavého prachu a silničního prachu, zabývám se rozdělením prachových částic a dále jejich původem. V další se zaměřuji na charakteristiku oblasti města Ostrava, konkrétně na zdroje znečištění v této oblasti, klimatické podmínky, geochemii půd a popisují urbanizovanou plochu. Samozřejmě se zde věnuji také vlivu na životní prostředí a dopady na lidské zdraví. Druhá část je praktická, kde se zaměřuji na silniční prach v rámci města Ostrava. Zde předkládám výsledky zkoumání silničního prachu a jejich analýzu. Upřesňuji metodiku odběru vzorků, metody pro identifikaci zdrojů znečištění a na závěr specifikuji způsoby nakládání se silničními smetky.

**Klíčová slova:** silniční prach, Ostrava, zdroje znečištění, chemické složení, údržba silnic

## SUMMARY

In my bachelor's thesis I deal with the issue of road dust in the city of Ostrava. In the first part of my bachelor's thesis I deal with the theoretical concept of dust particles, airborne dust and road dust. I deal with division of dust particles and their origin. In the next part I focus on characteristics of region of Ostrava, specifically on source of pollution, climate conditions, soil geochemistry and describing urbanized area. Of course, I also deal with the impact on the environment and the impact on human health. The second part is practical, where I focus on road dust within the city of Ostrava. Here I present the results of road dust research and analysis. I specify sampling methodology, methods for the identification of pollution sources and finally, I specify the methods of handling street dust.

**Key words:** road dust, Ostrava, sources of pollution, chemical composition, road maintenance

## OBSAH

1	ÚVOD A CÍL PRÁCE .....	1
2	PRACHOVÉ ČÁSTICE .....	3
2.1	Rozdělení prachových částic .....	3
2.2	Původ prachových částic .....	4
2.2.1	Minerální složky .....	4
2.2.2	Složky dané dopravou .....	4
2.2.3	Znečištění z pneumatik .....	5
2.2.4	Znečištění z brzd .....	5
2.2.5	Znečištění z výfukových plynů .....	6
2.2.6	Znečištění ze samotných vozidel .....	6
2.3	Chemické složení .....	6
2.3.1	Těžké kovy .....	8
2.3.2	Uhlíkaté částice .....	9
2.4	Vliv na ŽP .....	10
2.5	Vliv na zdraví .....	10
3	CHARAKTERISTIKA OBLASTI .....	12
3.1	Zdroje znečištění .....	15
3.1.1	Průmyslové a energetické zdroje .....	16
3.1.2	Lokální topeniště .....	18
3.1.3	Doprava .....	19
3.1.4	Dálkový přenos z Polska .....	21
3.2	Klimatické podmínky .....	22
3.3	Geochemie půd .....	24
3.4	Urbanizovaná plocha .....	31



4	METODIKA ODBĚRU VZORKŮ.....	31
4.1	Chemická analýza metodou RTG-fluorescence.....	32
4.2	Velikost částic jako kritérium zdroje znečištění .....	34
4.3	Stanovení vodorozpustného podílu a jeho složení .....	35
4.4	Podíl biogenní hmoty v silničním prachu .....	40
5	METODY PRO IDENTIFIKACI ZDROJŮ ZNEČIŠTĚNÍ .....	41
5.1	Index nabohacení .....	42
5.2	Srovnání hodnot z různých oblastí (Ostrava x Olomouc).....	43
5.3	Mineralogická fázová analýza.....	43
5.4	Optické metody .....	44
5.5	Posypové materiály .....	45
6	ZPŮSOBY NAKLÁDÁNÍ SE SILNIČNÍMI SMETKY .....	46
6.1	Údržba silnic .....	46
6.2	Účinnost čištění silnic .....	49
6.3	Boj proti prachu.....	52
6.4	Odhad množství .....	53
6.5	Technologické možnosti odloučení posypových materiálů .....	53
7	DISKUZE .....	57
8	ZÁVĚR.....	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	67
	SEZNAM TABULEK.....	68
	SEZNAM PŘÍLOH .....	69
	PŘÍLOHY .....	1

## 1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

Problematika silničního prachu, tedy prachu nacházející se v okolí silnic, se stává velmi aktuálním tématem. Silniční prach velmi významně přispívá ke znečištění městského ovzduší, a to jako resuspendované částice z komunikací. Kvůli rychlé, stále probíhající a neorganizované industrializaci a urbanizaci se kvalita městského ovzduší stále zhoršuje, a tudíž je stále hlavním problémem v takových oblastech. [1]

Pouliční prach je heterogenní směs částic různých velikostí a odlišného složení. Složení těchto částic je velmi variabilní a závisí na klimatických podmínkách, půdním prostředí, horninovém podloží a lidských aktivitách. [2] Částice deponované na povrch vozovek mohou pocházet z různých zdrojů. Silniční prach (*road dust*) je významným zdrojem znečištění městského ovzduší. Vzhledem k faktu, že prach obsahuje také toxické látky či těžké kovy, je dobré se tímto problémem zabývat, především ve velkých městech, kde je doprava velmi hustá. Výhodou ovšem je, že silniční prach lze využít pro porovnávání a monitorování či případnou identifikaci zdroje znečišťování nejen ovzduší. Můžeme tak silniční prach využít také jako archiv životního prostředí v okolí. Právě fakt, že silniční prach obsahuje velké množství těžkých kovů stojí za zdravotními riziky obyvatel, kteří žijí právě ve velkých městech nebo u dálnic.

Správná charakteristika složení silničního prachu je velmi důležitá především proto, aby se mohla tvořit úspěšná strategie v boji proti znečišťování. Určení složení může být obtížné hned z několika hledisek. Do hry vstupuje geografická poloha, složení okolní půdy, kvalita dešťové vody či povětrnostní podmínky jako celek. Největší zatížení silničním prachem se očekává v průmyslových zónách a na silnicích s velkým zatížením dopravy. Má se za to, že za až 30 % složení silničního prachu jsou zodpovědná vozidla.

Resuspendace silničního prachu (prach se poté, co se usadí na vozovce znovu rozptýlí do ovzduší díky jedoucím vozidlům, chodcům atd.) je ve městech hlavním zdrojem částí  $PM_{2,5}$  a  $PM_{10}$ . Právě tyto částice pak mohou mít významný vliv na dopad pro lidské zdraví. V posledních letech sice klesá podíl z výfukových plynů, a to především díky enormnímu úsilí na neustálé snižování limitů emisí. Naproti tomu ale roste podíl částic v podobě opotřebovaných brzd, pneumatik a dalších součástí vozidel. Vedle toho se nemalou mírou

podílí také samotná vozovka. Velmi často se v ní vyskytují nejrůznější strusky a odpad, který se třením z vozovky drolí a tvoří tak další zdroj znečištění.

Identifikace zdrojů kontaminace ale bývá velmi složitá, co se týče silničního prachu, neboť se zde vyskytuje velké množství proměnných, které mohou do složení promluvit. Jednou velmi podstatnou složkou složení silničního prachu je také chemické ošetření silnic. To probíhá především v zimním období na hlavních tazích a dálnicích, kde je potřeba skutečně rychlého a efektivního odstranění námrazy a sněhu z povrchu vozovky.

Cílem mé bakalářské práce je zaměřit se na prach, resp. silniční prach ve městě Ostrava. Zaměřit se na chemické složení prachu, s konkrétním zaměřením na kovy, vyskytující se v okolí silnic a na potenciální zdroje znečištění. Prozkoumat a popsat poskytnutá data, a na jejich základě určit nejzatíženější lokalitu. Dále popsat údržbu silnic a následné nakládání se silničními smetky. Dalším dílčím cílem je popis zimní údržby, respektive jak posypové materiály ovlivňují složení silničního prachu a jak se dají tyto materiály odloučit.

## 2 PRACHOVÉ ČÁSTICE

Prachové částice vznikají z různých zdrojů a mají řadu morfologických, chemických, fyzikálních a termodynamických vlastností. Příkladem mohou být částice vytvořené hořením, jako jsou naftové saze nebo popel či popílek; fotochemicky vzniklé částice, které se nacházejí v městském oparu; částice soli nanesené z mořského postřiku a částice podobné půdě z resuspendovaného prachu. Některé částice jsou kapalné, některé pevné. Jiné mohou obsahovat pevné jádro obklopené kapalinou. Tyto částice mohou obsahovat anorganické ionty, kovové sloučeniny, elementární uhlík, organické sloučeniny či biogenní sloučeniny. Některé prachové částice jsou hygroskopické a obsahují vázanou vodu. Organická frakce je zvláště složitá, obsahuje stovky organických sloučenin. Primární částice jsou vypouštěny přímo ze zdrojů, naopak sekundární částice vznikají v atmosféře chemickými reakcemi plynů z přírodních či antropogenních zdrojů. Tyto částice jsou velmi lehké, proto setrvávají v atmosféře značně dlouhou dobu, než deponují na zemský povrch. Platí, že čím menší je průměr tuhé partikule, tím déle zůstane v ovzduší. Tím větší je pravděpodobnost jejich vdechnutí a negativního impaktu na naše zdraví. [6]

### 2.1 Rozdělení prachových částic

Pevné prachové částice neboli částice PM (z anglického výrazu *Particulate Matter*) jsou souborem různorodých látek tvořených pevnými a kapalnými částicemi rozptýlené ve vzduchu. Některé částice, jako je zemina, saze nebo kouř, jsou dost velké nebo tmavé na to, aby byly vidět pouhým okem. Jiné jsou tak malé, že je lze odhalit pouze pomocí elektronového mikroskopu. [3]

V městském prostředí mohou být emise prachu ze silnic důležitým zdrojem atmosférických částic (PM). Ve velkých městech se koncentrace PM<sub>10</sub> a v menší míře PM<sub>2,5</sub> (částice s aerodynamickým průměrem <10 μm a <2,5 μm) významně zvýšila resuspenzí částic uložených v aktivních jízdních pruzích v důsledku jízdy vozidla a resuspendací způsobenou koly, a to většinou v suchém podnebí. [4]

PM můžeme dělit na základě různých kritérií. Například dle jejich vzniku na částice přírodního nebo antropogenního původu či na primární nebo sekundární částice. Význačným kritériem pro rozdělení je jeho chemické složení, což je podrobně popsáno v kapitole 2.3.

Rozdělení dle frakcí neboli zrnitostní třídy můžeme rozdělit takto:

- Nad 2 mm
- 2-0,063 mm
- Pod 0,063 mm

Dle velikosti jsou částice PM rozděleny takto:

- $PM_{10}$  – hrubá frakce, velikost aerodynamického průměru částic od 2,5 do 10  $\mu m$ , zachycují se v horních cestách dýchacích, průduškách či plicích;
- $PM_{2,5}$  – jemná frakce, velikost aerodynamického průměru pod 2,5  $\mu m$ , usazují se v plicních sklípcích; částice o velikosti menší než 0,1  $\mu m$  se nazývají ultrajemné částice, vstupují do krevního oběhu.[5]

## **2.2 Původ prachových částic**

Silniční prach pochází z různých zdrojů. Jedná se o částice deponované na vozovce pocházející přímo z vozidel, z obrusu povrchového materiálu vozovky, z okolní půdy a podobně. Za hlavní zdroje pro silniční prach jsou zpravidla identifikovány minerální složky z okolní půdy, opotřebení brzdových destiček, opotřebení pneumatik a emise výfukových plynů.

### **2.2.1 Minerální složky**

Minerální složky tvoří podstatnou část složení silničního prachu. Hlavní minerální složkou pak bývá křemen, který tvoří až 50 % obsahu minerální složky. Samotná minerální složka pak může v závislosti na geografických podmínkách činit až 60 % složení silničního prachu. Prach také často obsahuje minerální složku, která je obsažena v okolní půdě. I proto se často provádějí odběry okolní půdy, aby bylo jednodušší analyzovat, na kolik je složení ovlivněno právě okolní půdou. [8]

### **2.2.2 Složky dané dopravou**

Složky silničního prachu, které zde můžeme najít pocházejí z automobilů, výfukových zplodin, pneumatik či brzd. Všechny tyto aspekty mají vliv na výsledné složení silničního prachu. Z pneumatik se velmi často otírají prvky jako zinek, kadmium, kobalt, chrom, měď či nikl. Při brzdění se pak uvolňují prvky jako železo, měď, cín, baryum, hliník, křemík, síra,

titan, nikl, chrom, olovo či kadmium. Pokud navíc vůz koroduje, nebo minimálně některá z jeho části, můžete se uvolňovat také měď, nikl či chrom navíc.

V automobilovém průmyslu se navíc stále častěji využívají nové materiály, nové směsi a chemická individua. Zpravidla pro zlepšení vlastností částí vozů nebo také pro větší bezpečnost. Toto se týká nejen vozů jako takových ale také spotřebního materiálu jako například brzdových destiček atd. To samo o sobě velmi komplikuje identifikaci a následné stanovení znečištění. [7]

### **2.2.3 Znečištění z pneumatik**

Ačkoli se vývoj vozů ubírá neustále dopředu, výzkumy neustále prokazují, že k znečišťování způsobeným oděrem z pneumatik stále dochází. Výzkumy prokázaly, že důvodem, proč se z pneumatik nejvíce odírá právě zinek je především postup vulkanizace. Během tohoto procesu se totiž přidávají zinečnaté sloučeniny. Podle Ozakiho a kol. (2009) pneumatiky obsahují mezi 1,3 – 1,7 % zinku. Průměrná hmotnost jedné nové pneumatiky je okolo 8 kilogramů. Za dobu svého využívání se z pneumatiky vytratí až 1,5 kilogramu kaučuku, v procentech se tedy jedná až o 20 % kaučuku, který vstupuje do životního prostředí právě oděrem. [4]

### **2.2.4 Znečištění z brzd**

Znečištění z brzd je patrné zejména na křižovatkách, u semaforů atp. Je to logické, neboť právě zde se brzdy používají nejvíce, nejvíce dochází k otěru kotoučů, což zase vede k vyššímu znečištění právě z brzdových systémů. Je velmi těžké odhadnout, kolik různých patentovaných materiálů se v brzdových systémech používá. V celé Evropské unii se běžně používají různá kovová či plastová vlákna. I to může za velkou variabilitu znečištění v rámci silničního prachu. V průběhu rychlého a intenzivního brzdění se brzdové kotouče zahřejí a dochází tak k emisi částic z brzdových kotoučů. [4]

Podle práce Österleho a kolektivu z roku 2001 se běžné brzdové obložení skládá z 48 % barytu, 14 % vermikulitu, 19 % fenolové pryskyřice, 4,6 % antimonitu, 5 % kaučuku, 6,4 % aramidů, 0,3 % síry. Všechny tyto sloučeniny a látky pak mohou tvořit část silničního prachu. Jak již bylo výše zmíněno, zejména pak v oblasti křižovatek a semaforů. Více prací nezávisle na sobě uvedlo, že brzdový prach sám o sobě obsahuje vedle velkého množství

železa také měď, antimon, baryum, hliník, křemík, síru, titan, zinek, nikl, chrom a olovo. V malém množství se lze setkat také s kadmiiem. [4]

### **2.2.5 Znečištění z výfukových plynů**

Výfukové plyny mají přímý vliv na kvalitu ovzduší, a to nejen ve městech. Výfukové plyny se pak nemalou měrou podílejí také na skleníkovém efektu. Evropská komise tedy začala zavádět nejrůznější redukce a limity výfukových plynů, aby nedocházelo k tak drastickému znečišťování životního prostředí. Ačkoli automobilky přispěchaly s novými technologickými řešeními, emise výfukových plynů jsou i nadále velmi vysoké. Předešlé studie, které se tomu věnovali sice pokryly chemické složení výfukových plynů, a tedy také chemické individuality, které pak tvoří silniční prach. Problémem ale je, že jen minimální část z nich se věnovala distribuci velikosti částic. [4]

### **2.2.6 Znečištění ze samotných vozidel**

Předešlé subkapitoly uvedly, na znečišťování a na složení silničního prachu se podílejí různé zdroje, je třeba si ale uvědomit, že určité znečištění s sebou přinášejí také vozidla jako taková. Řeč je například o korozi, která se následně může přímo podílet na složení silničního prachu. Také opotřebení dalších částí vozidel, nejen pneumatik nebo brzd, se podílí na složení silničního prachu a podíl těchto látek není opravdu zanedbatelný. [4]

## **2.3 Chemické složení**

Chemické složení prachových částic se liší podle geografického umístění, emisních zdrojů, atmosférických podmínek, počasí a také dle velikosti částic. Nejkomplikovanější chemické složení má městský prach. Je to dáno tím, že k jeho tvorbě přispívá široká škála různých zdrojů. Tyto komplikované směsi obsahují velké množství jak anorganických, tak organických komponent v různých koncentracích. [8]

Silniční prach zahrnuje částice převážně větších frakcí, na jejichž složení se podílí kovy jak geologického původu z okolní půdy, kdy se jedná hlavně o křemičitany a hlinitany alkalických kovů a kovů alkalických zemin (Ca, Mg, Na, K), tak prvky z celkového provozu automobilu v hrubé i jemné frakci. Nezanedbatelnou roli hrají také částice chemického (sůl) i inertního materiálu (písek, štěrk, struska) pro posyp silnic v zimním období, opadávajících nečistot z vozidel a ztráty převáženého materiálu.

Na celkovém obsahu částic v ovzduší se podílí významným způsobem také zvíření (resuspenze) prachových částic deponovaných na vozovce v důsledku projíždějících automobilů či prouděním větru. Na tomto jevu se podílí samozřejmě nejen doprava sama, ale i lokální meteorologické podmínky (proudění vzduchu v kaňonech ulic) i úroveň managementu města (čistění a mytí ulic a veřejných prostranství). Zvíření sedimentovaných částic závisí na specifických lokálních podmínkách, tj. na kvalitě povrchu silnice, na rychlosti jízdy, na hmotnosti automobilů a na vlhkosti vzduchu. Nebezpečnost resuspendovaných částic spočívá zejména v sorpci dalších škodlivin na jejich povrch v případě dalšího setrvání na vozovce nebo v jejím okolí. [9]

Uvolňování škodlivin obsažených v silničním prachu je spojeno s procesy jako obrousování namáhaných součástek (brzdové a spojkové obložení), kdy se do ovzduší uvolňují měď (Cu), titan (Ti), antimon (Sb), baryum (Ba), železo (Fe), zinek (Zn), chrom (Cr), olovo (Pb), mangan (Mn), hořčík (Mg), kadmium (Cd) a další. Kovy, které souvisejí s opotřebením brzdových destiček, vykazují nárůst s větším objemem dopravy, přičemž k tomu může docházet v důsledku větší intenzity automobilové dopravy nebo vyšší frekvence brždění. Při srovnání dálnice s městskou silnicí jsou městské komunikace v průměru o 30 % více kontaminovanější, a to konkrétně prvky Zn, Cu, Pb a Fe. Zapříčiněno je to odlišným způsobem jízdy, kdy ve městech dochází k častějšímu brždění, a tím k většímu uvolnění částic. K nejintenzivnějšímu opotřebení brzd, jak už bylo uvedeno, dochází na křižovatkách, rozích, semaforech a při prudkém nuceném brždění. [10]

Abraze pneumatik, obsahující různé druhy pryží, je zdrojem především Zn, a dalších kovů jako je Co a Fe a také elementárního uhlíku. Zinek je přitom nejhojnější kov z obrusu pneumatik, což je zapříčiněno přidáváním ZnO a ZnS do pryže. Adamiec ve své studii uvádí, že pneumatiky mohou obsahovat dle jedné studie 1,3 – 1,7 % Zn, a dle druhé zase může být obsah zinku od 0,4 do 4,3 %. Uvolnění kovových částic opotřebením vyplývá z kontaktu povrchu vozovky s pneumatikou. Velikostní distribuce těchto částic závisí na mnoha faktorech, jako je typ chodníku, teplota, rychlost, stáří a složení pneumatiky. Co se týče materiálu vozovky, betonová vozovka vykazuje větší množství emisí z obrusu pneumatik v porovnání s asfaltovou, a také vyžaduje větší množství energie, což vede k větší spotřebě paliva. Emise z obrusu pneumatik se odhadují od 16 do 90 mg/km na jednu pneumatiku.



Celá řada kovů se do životního prostředí, hlavně v okolí vozového parku, dostává rovněž při mechanické separaci z rezivějící karoserie automobilů a pouličního příslušenství (koše, dopravní značení, osvětlení, svodidla apod.). [10]

Pro shrnutí doplňují, že z automobilů vzniká obrovské množství částic, které se následně podílejí na vzniku silničního prachu. Byly popsány částice vznikající z brzd, pneumatik a také z karoserie vozu. Podle Adamiece je potřeba si uvědomit, že z automobilu se mohou uvolňovat také plastové částice, právě z plastových částí vozu. Stejně tak se mohou tímto způsobem do okolí uvolňovat další těžké kovy z pochromovaných částí vozů. Toto vše sehraává svoji roli v rámci vstupu nebezpečných látek do životního prostředí. [7,8]

### 2.3.1 Těžké kovy

Těžké kovy v ovzduší představují závažnou potenciální zátěž ostatních složek životního prostředí. Pojem těžké kovy je v oblasti ochrany prostředí používán pro skupinu kovů a metaloidů se specifickou hmotností prvku větší než  $4 \text{ g.cm}^{-3}$ . Patří sem (zejména dle Úmluvy o dálkovém přenosu látek znečišťujících ovzduší – *Convention on Long Range Transboundary Air Pollution – CLRTAP*) As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb a Zn. Ačkoliv jsou některé tyto prvky v malém množství potřebné jako esenciální živiny (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Se, Cr), při překročení určité koncentrace jsou tyto prvky nebo jejich sloučeniny pro různé složky životního prostředí prokazatelně toxické.

Těžké kovy v pouličním prachu mohou pocházet jak z antropogenních zdrojů, jako je průmyslová činnost, tak i z přírodních geochemických procesů jako je zvětrávání. Zdrojem antropogenních emisí těžkých kovů je zejména spalování fosilních paliv, výroba a zpracování železa, metalurgie neželezných kovů, spalovny odpadu, výroba cementu, a také doprava (výfukové plyny, obrus pneumatik, brzdové obložení). Tyto kovy nejsou obvykle rozloženy mikroorganismy, tudíž se mohou bioakumulovat skrz potravní řetězec a mohou být velice škodlivé pro lidské zdraví. Rozpustnost těžkých kovů významně ovlivňuje jejich mobilitu, biologickou dostupnost a toxicitu. Toxicita a mobilita těžkých kovů závisí nejenom na jejich koncentraci, ale také na jejich chemických vlastnostech a na okolních enviromentálních podmínkách, jako je pH, redoxní potenciál, a biologické působení kořenů a tvorba chelátů. [8,11]

Pokud budeme mluvit o konkrétních nebezpečných stopových prvcích pocházející z dopravy jedná se především o Zn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Ba a Zr, které pocházejí z brzd či pneumatik. Kromě těchto prvků se však ještě z pneumatik mohou uvolňovat Co, Hg, Mn, Mo a z brzd Sb a Sn. Z koroze automobilů se může objevit i Ni či Cr. Při spalování fosilních paliv se se jedná o As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Hg, Pb, Sb, Ni, Zn a Se. [2]

Za významný zdroj znečištění ve zkoumané oblasti je třeba označit též výrobu železa a oceli v ArcelorMittal v Ostravě (nově Liberty Ostrava). Prach z vysokých pecí je významným zdrojem Fe, Ca, Zn, Pb, Na, K, Cl, Cd a Cu. [2]

Další firmy, které můžeme jistě označit za významný zdroj znečištění jsou popsány v kapitole 3.1.1

### 2.3.2 Uhlíkaté částice

Částice elementárního uhlíku a sazí (EC) vznikají především kondenzací molekul  $C_2$  vzniklých jako vedlejší produkt spalování fosilních paliv, kdy tvoří malé kulovité částice, které aglomerují do shluků o velikosti až několika mikrometrů. Strukturou se podobá grafitu, a vyskytuje se převážně ve formě nekystalické amorfni fáze, známé pod termínem saze. Tato forma uhlíku je teplotně velmi stabilní, kdy k pyrolýze je zapotřebí teplota kolem 700 °C. Odhaduje se, že příspěvek EC v částicích PM v blízkosti komunikací činí okolo 27 %. [12, 13]

Organický uhlík (z angličtiny *Organic Carbon*) představuje částice organické hmoty tvořené stovkami sloučenin. Zatímco elementární uhlík je primární znečišťující látkou vypouštěnou do ovzduší přímo; organický uhlík má primární i sekundární zdroje. Primární částice organického uhlíku vznikají při spalování paliv a biomasy, a emitují přímo ze zdroje jako submikronové částice. Mezi další zdroje patří rostlinné spory, pyly, rostlinné a živočišné, resp. hmyzí úlomky, guma z pneumatik a zemina. Sekundární organické uhlíkové sloučeniny vznikají komplexními fotochemickými reakcemi v atmosféře z organických plynů (VOC). Studie smogové komory a experimenty v interiéru ukazují, že atmosférická oxidace některých organických sloučenin nalezených v atmosféře může produkovat vysoce oxidované organické sloučeniny. [6, 12]

Black carbon nemá přesnou chemickou definici vyjádřenou vzorcem, ale představuje směs složenou z mnoha různých chemických látek. Na základě jejich původu z odlišných

zdrojů mají tyto směsi rozdílnou morfologii, chemické složení a geometrický tvar, což ovlivňuje jejich povrchové a optické vlastnosti. Zjednodušeně to jsou tedy nespalitelné uhlíkaté zbytky vzniklé při nedokonalém spalování biomasy a fosilních paliv. Tudíž je nelze zaměňovat s pojmy elementární uhlík (EC) či saze. [13]

Polycyklické aromatické uhlovodíky, označované jako PAU nebo častěji jako PAH (z angličtiny *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*), jsou tvořeny dvěma či více kondenzovanými benzenovými jádry, která mohou být různě substituována, což vede k nesmírné rozdílnosti forem. PAU se dvěma nebo třemi benzenovými jádry se vyskytují ve fázi par, zatímco PAU s více než pěti kruhy se vyskytují spíše ve fázi částic. PAU mezi toxickými látkami pro městské ovzduší vzbuzují globální obavy vzhledem k jejich mnohočetným účinkům na lidskou populaci. [14, 15]

## 2.4 Vliv na ŽP

Prach může působit na organismy přímo zaprášením, kdy sedimentovaný prach na povrchu listu snižuje jejich aktivní plochu, omezuje výměnu dýchacích plynů a tím je zpomalen proces fotosyntézy. Nebo nepřímo při vstupu částic do půdního prostředí. Reakce záleží hlavně na chemickém složení jednotlivých sloučenin či prvků v deponovaných částicích. Individuální prvky musí být biologicky dostupné, aby měli nějaký efekt. V půdě tyto znečišťující látky působí na bakterie a houby, které získávají živiny z kořenů (hlavně cukry) a na oplátku zpřístupňují rostlinám minerální živiny důležité pro jejich růst. Houby a další organismy žijící na listech stromů a jiné vegetace také hrají nezbytnou roli v rozkladu spadaneho listí. Tudíž jakákoliv změna fungální komunity oslabuje proces rozkladu, snižuje rychlost rozkladu a celkově narušuje koloběh živin. Tyto změny zpravidla nastávají až po delší době působení. U živočichů pak vstupuje prach i do dýchacích cest stejně jako u člověka a může negativně ovlivňovat nejenom dýchací ústrojí, ale také může mít vliv na reprodukci a vývoj organismu.

## 2.5 Vliv na zdraví

Produkce silničního prachu jako takového je především důsledkem industrializace. Bylo nespočetněkrát dokázáno, že silniční prach má negativní dopad na lidské zdraví. Stejně tak je známé, že se silniční prach skládá především z pevných částic. Ty se díky dopravě rozvíří, dochází k resuspendaci, tedy k tomu, že se dostanou do ovzduší. Díky tomu lidé

nebezpečné částice silničního prachu vdechují a dochází k podráždění dýchacích cest a tím pádem také ke zdravotním komplikacím. [41]

Částice prachu nejčastěji vstupují do lidského organismu skrz dýchací cesty. Místo zachytu závisí na jejich velikosti. Částice větší než 10  $\mu\text{m}$  se zachycují v chloupkách v nose a pohybem řasinkového epitelu, kterým je vystlána nosní dutina, se dostávají s hlenem do nosohltanu a jsou vykašlány, vykýchány či spolknuty. Částice menší než 10  $\mu\text{m}$  se postupně usazují v horních cestách dýchacích, kdy tyto cesty zachytí většinu částic větších než 5  $\mu\text{m}$ , a mohou způsobovat zdravotní problémy. Se zmenšující se velikostí částic pravděpodobnost průchodu do plicních sklípků stoupá, pro částice velikosti 3  $\mu\text{m}$  je tato pravděpodobnost vyšší než 50 %, Částice menší než 1  $\mu\text{m}$  vstupují přímo do plicních sklípků, proto frakce prachu tvořená malými částicemi vdechovatelná až do plic je z hlediska zdravotního rizika nejnebezpečnější.

Vystavení těmto prachovým částicím způsobuje různé nepříznivé biologické reakce lidského organismu. Vysoké koncentrace prachu v ovzduší způsobují usazování prachových částic v očích, nosu a ústech a s tím spojené nepříjemné pocity. Negativní vliv je způsoben především chemickými sloučeninami obsaženými v prachových částicích. Inhalace PM<sub>10</sub> poškozuje hlavně kardiovaskulární a plicní systém. Dlouhodobá expozice i u prachu bez specifických účinků („inertní“) přetěžuje samočistící mechanismy plic, snižuje celkovou obranyschopnost člověka a může přispívat ke vzniku chronického zánětu průdušek či jiných chronických plicních onemocnění. Celkově tak snižuje délku dožití a zvyšuje kojeneckou úmrtnost. Při chronické expozici suspendovaným částicím frakce PM<sub>2,5</sub> se redukce očekávané délky života začíná projevovat již od průměrných ročních koncentrací 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . V důsledku adsorpce organických látek s mutagenními a karcinogenními účinky může expozice způsobovat rakovinu plic, Prachové částice stejně jako celá směs látek jsou od roku 2013 Mezinárodní Agenturou pro výzkum rakoviny, která je součástí Světové zdravotnické organizace (WHO – *World Health Organization*), zařazeny do skupiny 1 mezi prokázané lidské karcinogeny.

Dále se zde používá termín index nebezpečnosti (HI). Doslova se popisuje jako „součet rizikových podílů pro látky, které ovlivňují cílový orgán nebo orgánový systém“. Dalším termínem používaným ve spojitosti s lidským zdravím je tzv. kvocient nebezpečnosti: „Pravděpodobná potenciální expozice látky a úroveň při které se neočekává

nepříznivý účinek“. Dalším pojmem spojovaným s lidským zdravím je pojem posouzení rizik pro lidské zdraví. Ten se definuje jako „proces odhadu rizika a pravděpodobnosti nepříznivých účinků na zdraví u lidí, kteří mohou být vystaveni chemickým látkám v ověřeném prostředí životního prostředí nyní nebo v budoucnu“. [9]

### **3 CHARAKTERISTIKA OBLASTI**

Statutární město Ostrava je krajským městem a metropolí Moravskoslezského kraje. Jeho rozloha činí 214,23 km<sup>2</sup>, a počet obyvatel je 297 430. Město Ostrava je rozděleno na 23 obvodů (Obrázek 2). Má hustou dopravní síť tvořenou z dálniční sítě dlouhé 17,5 km; 194,2 km silnic a místní komunikace 827,1 km. Ostravsko patří mezi oblasti s nejvíce znečištěným ovzduším jak v České republice, tak i v rámci Evropy. Nepříznivý stav ovzduší na Ostravsku je způsobem především vysokou koncentrací těžkého průmyslu v regionu, hustou zástavbou a geomorfologickými podmínkami hornoslezské pánve, v níž Ostravsko leží, neboť při špatných rozptylových podmínkách zejména v zimních měsících se zde znečištění koncentruje. Reliéf Ostravy má charakter ploché pahorkatiny s oblými hřbety. Významnou mírou se na podobě reliéfu podílejí antropogenní tvary způsobené zejména intenzivní těžbou uhlí a následnou hospodářskou činností. Dominují především haldy vzniklé průmyslovou a těžební činností. [16, 17]



**Obrázek 1** Rozdělení města Ostravy

Zdroj: MĚSTSKÉ OBVODY. In: *OSTRAVA* [online]. [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://www.ostrava.cz/cs/o-meste/mestske-obvody>

Na produkci emisí na území města Ostravy se podílí více než 400 zdrojů znečišťování. Tudíž znečištění ovzduší se stává dominujícím problémem této oblasti. Část území má průmyslový charakter s vysokou emisní vydatností. Jedná se především o vysokou koncentraci těžkého průmyslu, která nemá v takovém rozsahu obdobu, hraje ovšem klíčovou roli v ekonomice Moravskoslezského kraje. Kvalitu ovzduší dále ovlivňuje hustá doprava, související jak s průmyslovou výrobou v kraji, tak i s nárůstem individuální osobní přepravy, kdy se nejen proto ve městě Ostrava čistí komunikace mnohonásobně častěji než v ostatních městech, aby se zabránilo sekundární prašnosti; lokální topeniště, která mají v topné sezóně významný podíl na znečištění ovzduší; neudržované plochy a doznívající vlivy důlních činností; a velmi významný je také dálkový přenos škodlivin ze silně industrializované

polské oblasti Slezského vojvodství vlivem severovýchodního proudění větru na území Ostravska. Za zmínku stojí také samosběrné zametací vozy. V městě Ostrava se čistí komunikace mnohonásobně častěji než v ostatních městech, aby se zabránilo sekundární prašnosti. Ale jako vedlejší efekt vlastně také přispívají k míře znečištění zvířením prachu do ovzduší. [18]

Míra znečištění nejenom polétavým prachem je objektivně zjišťována pomocí sítě měřících stanic. V Ostravě je celkem 10 funkčních měřících stanic, které jsou uvedeny v Tabulce 2. Při hodnocení kvality ovzduší jsou porovnávány zjištěné úrovně koncentrací škodlivých látek s příslušnými imisními limity (uvedené v Tab.3), případně s přípustnými četnostmi překročení těchto limitů. Z výsledků měření v Ostravě za poslední roky vyplývá, že legislativou stanovené limity jsou u polétavého prachu překračovány téměř na všech měřících stanicích. Hodnocení kvality ovzduší provádí Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) na základě výsledků měření.

**Tabulka 1 - Měřící stanice na území města Ostravy**

Kód lokality	Název	Správce lokality
TOCBA	Ostrava-Českobratrská (hot spot)	ČHMÚ – pobočka Ostrava
TOFFA	Ostrava-Fifejdy	ČHMÚ – pobočka Ostrava
TOMHK	Ostrava-Mariánské Hory	ZÚ – Ostrava
TOPDA	Ostrava-Poruba DD	ČHMÚ – pobočka Ostrava
TOPOA	Ostrava-Poruba	ZÚ – Ostrava
TOPRA	Ostrava-Přívoz	ČHMÚ – pobočka Ostrava
TOREK	Ostrava-Radvanice ZÚ	ZÚ – Ostrava
TOROK	Ostrava-Radvanice OZO	ZÚ – Ostrava
TOZRA	Ostrava-Zábřeh	ČHMÚ – pobočka Ostrava
HRUSO	Ostrava-Hrušov	ZÚ – Ostrava

Zdroj: Informace o kvalitě ovzduší -ZdraváOVA. ZdraváOVA - Ekologický web OstravyZdraváOVA [online]. Copyright © [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: <https://zdravaova.cz/merici-stanice/>

Tabulka 2 - Imisní limity částic PM podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb.

Název	Doba průměrování	Mez pro posuzování [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Imisní limit [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
		Dolní	Horní	
<b>PM<sub>10</sub></b>	24 hod.	25 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok
	kalendářní rok	20	28	40
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	kalendářní rok	12	17	25

Zdroj: Portál ČHMÚ : Home [online]. Copyright © 2012 Copyright ČHMÚ, All rights reserved [cit. 19.08.2020]. Dostupné z:

[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html)

### 3.1 Zdroje znečištění

Jak již bylo zmíněno na území města Ostravy je přes 400 zdrojů znečištění. Zhoršená imisní situace je převážně způsobena kombinací vlivů průmyslových a energetických zdrojů, dopravy, lokálních topenišť a dálkovým přenosem z Polska.

Zdroje emitující do ovzduší znečišťující látky jsou celosvětově sledovány v rámci tzv. Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO). Správou databáze REZZO za celou Českou republiku je pověřen ČHMÚ. REZZO je v návaznosti na druhy zdrojů a jejich tepelné výkony členěn na:

**REZZO 1** – Zahrnuje stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu 5 MW a vyšším a zařízení zvláště závažných technologických procesů. Zařízení uvedené skupiny jsou označovány jako „velké zdroje znečišťování“.

**REZZO 2** – Zahrnuje technologické objekty obsahující stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW a zařízení závažných technologických procesů, jakož i uhelné lomy a obdobné plochy s možností hoření, zapaření nebo úletu znečišťujících látek. Uvedená skupina je označována jako „střední zdroje znečišťování“.

**REZZO 3** – Zahrnuje technologické objekty obsahující stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu nižším než 0,2 MW, zařízení technologických procesů



nespadajících do kategorie velkých a středních zdrojů znečišťování, plochy, na kterých jsou prováděny práce, které mohou způsobovat znečišťování ovzduší, skládky paliv, surovin, produktů a odpadů a zachycených exhalátů a jiné stavby, zařízení a činnosti výrazně znečišťující ovzduší. Uvedená skupina je označována jako „malé zdroje znečišťování“.

**REZZO 4** – Zahrnuje mobilní zařízení se spalovacími nebo jinými motory, které znečišťují ovzduší, zejména silniční a motorová vozidla, železniční kolejová vozidla, plavidla a letadla. Uvedená skupina je označována jako „mobilní zdroje znečišťování“.

Zvláště velké, velké a střední zdroje znečišťování ovzduší jsou sledovány jako bodové zdroje jednotlivě, malé zdroje plošně na úrovni krajů a obcí (pouze vytápění domácností), mobilní zdroje liniově (silniční doprava na úsecích zahrnutých do sčítání dopravy) a plošně na úrovni krajů (ostatní mobilní zdroje).

Podíl sektorů REZZO na znečištění tuhými znečišťujícími látkami za rok 2017 v Moravskoslezském kraji znázorňuje Tabulka 3 - Podíl sektorů REZZO na znečištění TZL za rok 2017 v MSK ukazuje vývoj (r.2003-2010) podílu jednotlivých sektorů na emisích jemného poléťavého prachu na území Ostravy. [19]

**Tabulka 3 - Podíl sektorů REZZO na znečištění TZL za rok 2017 v MSK**

Sektor	TZL [t/rok]
REZZO 1	1 161,3
REZZO 2	0,8
REZZO 3	4 558,5
REZZO 4	540,2

Zdroj: Český hydrometeorologický ústav: *Emisní bilance České republiky* [online]. [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <http://pr-asu.chmi.cz:8080/EmisBilanceView/faces/viewBilance.xhtml>

### 3.1.1 Průmyslové a energetické zdroje

Nejvýznamnějšími producenty emisí na území města Ostravy jsou zvláště velké a velké zdroje znečišťování ovzduší. Patří zde energetické zdroje, tedy elektrárny, teplárny

a kotelny. Dále technologické zdroje, tedy hutě, koksovny, ocelárny, chemické podniky atd. A další skupinou jsou pak zdroje z těžby nerostných surovin, jako jsou např. doly a lomy.

Všechny podniky podstoupily již mnoho etap ekologizace, některé více než jiné, například ve formě tkaninových filtrů či jiných forem odprášení, díky čemuž došlo ke snížení nejen emitovaného prachu ale i fugitivního. Tudíž dochází ke snižování emisí, ale zákonné limity pro TZL jsou stále každoročně překračovány. [13]

Jmenovitě se pak jedná především o zdroje společnosti:

**Arcelor Mittal**, nově **Liberty Ostrava a.s.**, je česká hutnická firma působící v areálu Nové hutě v jižní části Ostravy. Společnost provozuje hned několik závodů a to: koksovnu, vysoké pece, ocelárnu a strojírny a slévárny. Ocelárna patří k největším zdrojům emisí arsenu, benzo(a)pyrenu a prachu; a v bezprostředním okolí závodu jsou zákonné imisní limity znečištění ovzduší překračovány o desítky až stovky procent. V areálu se nachází teplárna společnosti **TAMEH Czech**, která dodává huti veškerou energii potřebnou k výrobě oceli. [20]

Společnost **Dalkia ČR**, která mění svůj název na **Veolia Energie ČR**, je výrobce a dodavatel tepelné a elektrické energie. **Elektrárna Třebovice**, jejímž provozovatelem je **Veolia Energie ČR**, zajišťuje zdroj tepla a elektrické energie na území Ostravska. [21]

Hlavním produktem společnosti **OKK Koksovna** je černouhelný koks pro využití v metalurgii, k vytápění a k technologickým účelům. Vyrábí také nezanedbatelné množství koksárenského plynu, jehož odběratelem je například **Veolia Energie ČR**, a dále pak dehet, benzol, síran amonný a elementární síru. [22]

Společnost **VÍTKOVICE STEEL** je český ocelářský podnik působící v areálu Vítkovických železáren a je přední evropský výrobce válcovaných výrobků z oceli a největší výrobce ocelových plechů v ČR. [23]

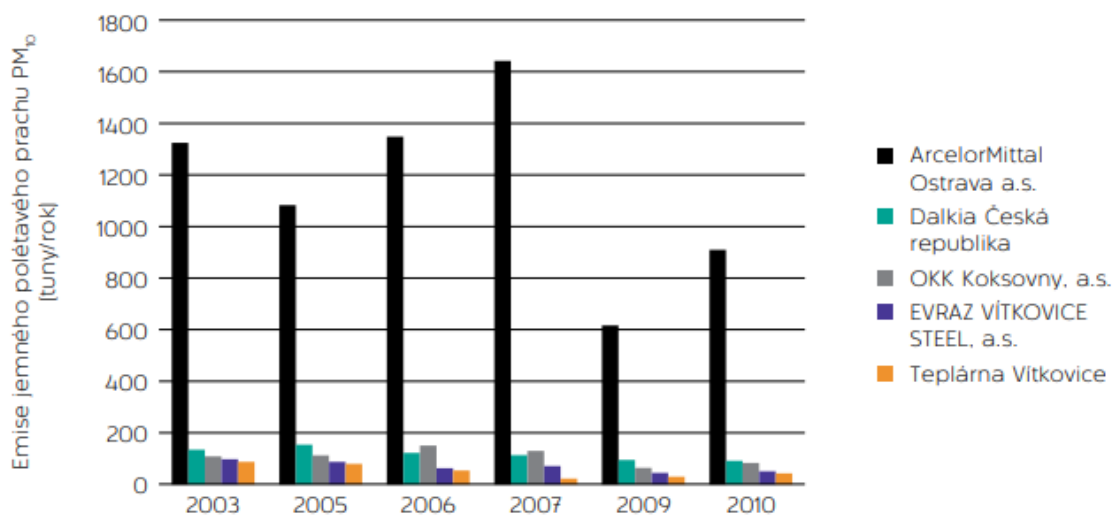
**Vítkovice HEAVY MACHINERY** je strojírenský podnik, jehož provozy se nacházejí zejména v areálu Vítkovických železáren. Výrobní portfolio společnosti zahrnuje díky vlastní výrobě oceli produkty pro široké spektrum průmyslových oborů. [24]

**Teplárna Vítkovice**, umístěná v areálu Vítkovických železáren, zásobuje teplem celý městský obvod Ostrava-Vítkovice, a částečně městský obvod Ostrava-Zábřeh. Hlavními

odběrateli jsou ale především průmyslové podniky, kvůli kterým byla teplárna vybudována. [25]

**BorsodChem MCHZ** je ostravský podnik v areálu v Mariánských Horách, zabývající se především výrobou produktů organické chemie, a to hlavně výrobou anilinu. [26]

**Graf 1 - Vývoj emisí PM<sub>2,5</sub> z významných průmyslových zdrojů znečišťování ovzduší na území Ostravy**



### 3.1.2 Lokální topeniště

Malé zdroje znečišťování tedy lokální topeniště jsou energetické zdroje převážně určené pro lokální vytápění prostor k individuálnímu bydlení. Tvoří významnou skupinu zdrojů znečišťování ovzduší s ohledem na jejich velké množství vypouštěných škodlivých látek, umístění v obytné zástavbě, teplotě spalování či na druhu použitého paliva. Tyto zdroje emitují škodliviny z komínů s výškou do 10 metrů, tudíž výrazně ovlivňují kvalitu ovzduší v bezprostředním okolí hlavně v zimním období v topné sezóně. Na provozovatele těchto zdrojů pro individuální vytápění domácností se nevztahuje přímá povinnost umožnění přístupu za účelem kontroly, proto v nich mohou topit i nekvalitními palivy či dokonce odpadem. Kotle jsou navíc často zastaralé a nejsou používány v souladu s doporučením výrobců. Kontrolu provozu provádí obec vyžádáním protokolu o provedení kontroly, že tepelný zdroj na pevná paliva je instalován, provozován a udržován v souladu s pokyny výrobce a se zákonem č. 201/2012 Sb. Proto je nutno působit prostřednictvím informačních kampaní, případně ekonomickými nástroji jako jsou dotační programy na tyto

provozovatele. Tyto malé zdroje znečišťování ovzduší se dle ČHMÚ podílejí na produkci emisí TZL v MSK téměř z jedné čtvrtiny. [27]

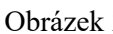
### 3.1.3 Doprava

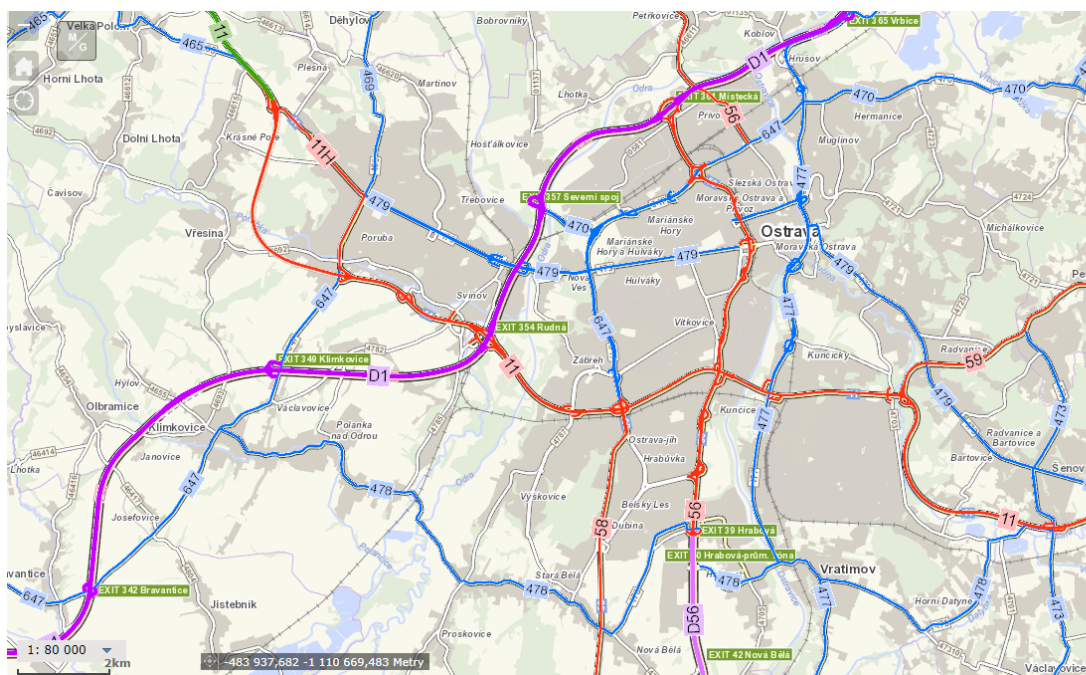
Dopravu řadíme do skupiny REZZO 4 jako mobilní zdroj znečišťování. Provozovatelé jsou povinni provozovat a udržovat tyto zdroje v souladu s podmínkami stanovenými výrobcí těchto zařízení a v souladu s emisními limity.

Podíl zejména automobilové dopravy v městských aglomeracích s vysokou intenzitou dopravy, jako je Ostrava, v posledních letech výrazně roste. S přibývajícím množstvím osobních i nákladních aut a prudkým nárůstem přepravních výkonů se stává tato skupina zdrojů velmi důležitou. Doprava zatěžuje životní prostředí nejen ve spojitosti se znečištěním ovzduší, ale také se podílí na znečištění dalších složek životního prostředí jako jsou např. podzemní a povrchové vody, půda, biota. Nelze opomenout ani zábor půdy dopravní infrastrukturou a fragmentaci krajiny, které ovlivňují migraci živočichů a biodiverzitu.

Příčinou emisí škodlivých látek z motorů vozidel jsou výfukové plyny vznikající při spalování pohonných hmot. Kromě výfukových plynů automobily produkují rovněž nezanedbatelné množství znečišťujících látek vznikajících opotřebením povrchu vozovky, pneumatik a brzdových destiček. Významnou zátěž ovzduší představuje také zvíření prachu (tzv. resuspenze) deponovaného na vozovce a v jejím blízkém okolí, iniciovaného projíždějícími vozidly či vířením proudícím větrem.

Automobily jsou podle množství emitovaných škodlivých látek zařazeny do tzv. emisních úrovní EURO. Čím vyšší je emisní úroveň, tím méně znečištění auto vypouští. V současnosti legislativa umožňuje omezit vjezd vozidel s nižší emisní úrovní do určitého území vyhlášením tzv. nízkoemisní zóny. V Ostravě se dlouho rozhodovalo, zda tyto zóny zavést, přičemž samotné MŽP tyto zóny Ostravě doporučovalo, ale nakonec podle studie magistrátu by se toto omezení nevyplatilo. Tudíž se vedení města rozhodlo, že spíše půjdou cestou nějakých regulačních ráďů, které by se zaváděly pouze v době smogových situací. Přičemž znečištění způsobované automobilovou dopravou je v Ostravě významné, zejména v okolí frekventovaných komunikací a křižovatek (ulice Bohumínská, Hlučinská, Mariánskohorská, 28. října, Místecká, Frýdecká, Českobratrská a jejich křižovatky, zejména Sad Boženy Němcové, Nová Ves – Vodárna, 17. listopadu apod.), v centru města a v západní

části města (Poruba a okolní městské části). Jak již bylo zmíněno, Ostrava je protkaná hustou dopravní sítí, což je znázorněno na  Obrázek 2 Dopravní síť Ostravska, složenou z 17,5 km dálniční sítě, 194,2 km silnic (I. třída 48,7 km; II. třída 66,4 km; III. třída 79,2 km) a 827,1 km místních komunikací. Silnice I. třídy tvoří kostru silniční třídy města, kdy se většinou jedná o čtyřproudové komunikace. Na nejrušnějších místech města projede křižovatkami až 68000 vozů za den, v klidnějších místech je to 20000 vozů/den. Imisní příspěvky automobilů jsou významně koncentrovány do blízkého okolí výše zmíněných komunikací, kde mohou dosahovat hodnot až  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Průměrný roční imisní příspěvek z mobilních zdrojů dosahuje  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Není zde však zahrnuta resuspenze prашných částic z povrchu vozovky, která může bilanci z pohledu TZL a dopravy změnit. [10, 13, 28, 29, 30]



Obrázek 2 Dopravní síť Ostravska

Legenda:

Dálnice I. třídy —

Dálnice II. třídy —

Silnice pro motorová vozidla —

Silnice I. třídy —

Silnice II. třídy —

Místní komunikace —

Zdroj: Mapa projektů. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 22.08.2020].

Dostupné z: [https://www.rsd.cz/wps/portal/web/mapa-projektu/!ut/p/a1/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOK9Pb09DZ2cDbzdjQ0MDRzNXFyNTX1CDAwMDIEKIoEKnN0dPUzMfYAiJhZGBp4uTh4u5pa-BgaeZsTpN8ABHA0I6Q\\_XjwIrwecCsAI8VhTkhkYYZDoqAgCJ8XUV/###stavby?filters\[\]=StavbyRealizace](https://www.rsd.cz/wps/portal/web/mapa-projektu/!ut/p/a1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOK9Pb09DZ2cDbzdjQ0MDRzNXFyNTX1CDAwMDIEKIoEKnN0dPUzMfYAiJhZGBp4uTh4u5pa-BgaeZsTpN8ABHA0I6Q_XjwIrwecCsAI8VhTkhkYYZDoqAgCJ8XUV/###stavby?filters[]=StavbyRealizace)

### 3.1.4 Dálkový přenos z Polska

Imisní situaci na území Ostravy ovlivňují také vzdálené velké průmyslové zdroje z polského Slezského Vojvodství. Slezské Vojvodství je intenzivní průmyslová oblast

s vysokou hustotou osídlení, která patří mezi nejvíce znečištěný region v rámci celého Polska. Přibližný odhad vlivu dálkového přenosu z Polska na celkovou imisní situaci jako průměrná roční koncentrace PM<sub>10</sub> je cca 4 µg/m<sup>3</sup>, s nejistotou ± 2 µg/m<sup>3</sup>, v závislosti na počasí. Odhad těchto imisí z polských zdrojů vychází ze srovnání imisí změřených na stanicích ve městech Złoty Potok a Żywiec při severovýchodním proudění. Aby bylo možné posoudit vliv průmyslových zdrojů, srovnání změřených imisí vychází z období mimo topnou sezónu. Při této situaci stanice Żywiec je ovlivněna těmito průmyslovými zdroji, a stanice Złoty Potok naopak není. Stanice Żywiec leží přitom v podobné vzdálenosti od významných polských průmyslových zdrojů jako Ostrava.

Oblast Moravy a Slezska patří k oblastem s nejvíce znečištěným ovzduším i s nejvyššími emisemi v celé Evropě. Původcem částic v oblasti je vysoká koncentrace průmyslové výroby, velká hustota zástavby s lokálním vytápěním a hustá dopravní infrastruktura. Silný vliv znečištění z příhraničí je znepokojující zvláště proto, že jej nemůže Česko přímo regulovat a je závislé na aktivitách prováděných sousedními státy. MŽP aktivně dlouhodobě spolupracuje s okolními státy, přičemž spolupráce s Polskou republikou je klíčová. Při česko-polských jednání dochází k pravidelné výměně informací o regulování zdrojů znečišťování ovzduší a o dotační podpoře. Polské MŽP po vzoru českých kotlíkových dotací spustilo v roce 2018 rozsáhlý program Čisté ovzduší (Czyste powietrze), kdy MŽP tlačí na polské orgány, aby byly výměny zastaralých polských kotlů provedeny prioritně v českém příhraničí, tedy v nejzatíženější oblasti.

Problémem tohoto dalšího znečištění je pak obtížná lokalizace znečištění plynoucího z dopravy a industriální výroby v Ostravě. S tímto problémem se pak potýká mnoho jiných míst. Stanovení silničního prachu, resp. zdrojů, které se na tvorbě silničního prachu podílejí je pak mnohem složitější. [13, 28, 31, 32]

### **3.2 Klimatické podmínky**

Území Ostravy spadá do mírně teplé klimatické oblasti, která se charakterizuje dlouhým, teplým a mírně suchým létem a krátkou mírně teplou a velmi suchou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky. Avšak liší se určitými zvláštnostmi způsobenými vysokou koncentrací průmyslu, hustou zástavbou a specifickými podmínkami Ostravské pánve. Průměrná roční teplota zde dosahuje 8,6 °C. Průměrný roční úhrn srážek činí 568,3 mm. [33]

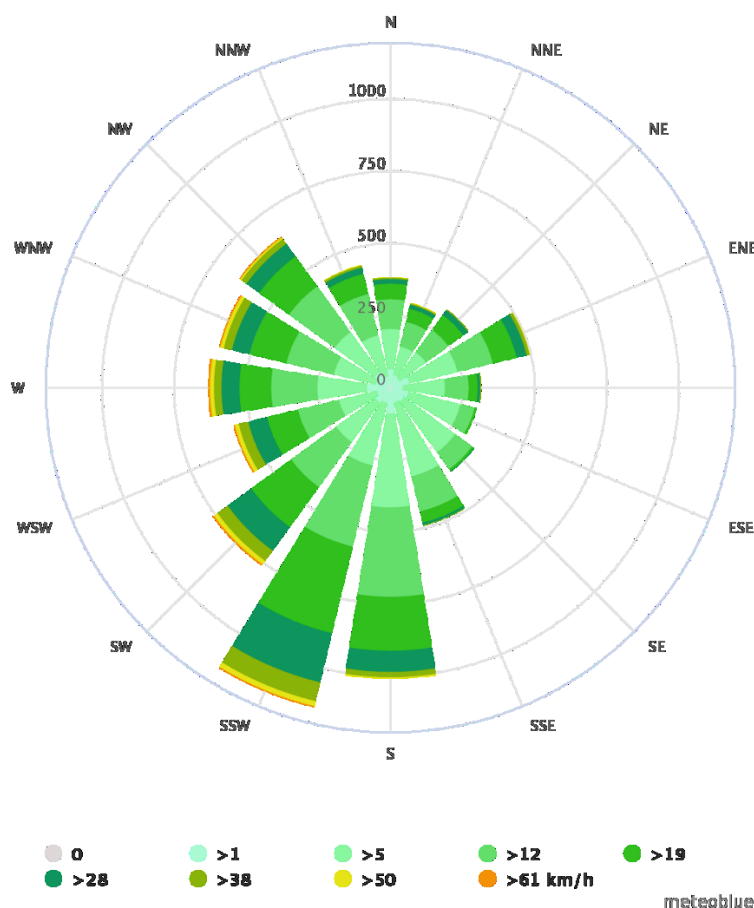
Konkrétní úrovně koncentrací emisí škodlivých látek v zájmové oblasti závisí nejenom na charakteristice zdrojů znečišťování, množství jimi vypouštěných škodlivin a fyzickogeografických podmínkách. Intenzitu a způsob rozptylu znečišťujících látek však dominantně určují meteorologické podmínky. [31]

Vliv meteorologických podmínek na imisní úroveň ovlivňuje její průměrnou hodnotu po celý rok, tedy v teplé i chladné polovině roku. V teplé polovině roku (tj. duben až září) je například velmi vysoká korelace u prachových částic mezi průměrnou koncentrací a průměrnou rychlostí proudění. Kvůli vysoké zástavbě se při zvýšených teplotách Ostrava stává městským tepelným ostrovem charakterizovaným jako oblast se zvýšenou teplotou vzduchu v přízemní vrstvě atmosféry (do 1,5 km), kde jsou teploty a proudění vzduchu ovlivňovány zemským povrchem nad městem. Tím pádem dochází k omezenému proudění vzduchu a ke koncentraci nejenom prachových částic. V chladné polovině roku závisí velikost průměrné koncentrace PM<sub>10</sub> zejména na hodnotách rychlosti proudění, četnosti dnů s prouděním z jihozápadního nebo severovýchodního kvadrantu a na počtu dní s bezvětrím, přičemž v těchto dnech s bezvětrím jsou průměrné koncentrace nejvyšší. V tomto chladnějším období ovlivňují koncentraci také vyšší emise částic ze sezónních zdrojů jako jsou lokální topeniště či resuspenze částic ze silničního zimního posypu vozovek. Dochází tedy tak častěji než v jiných oblastech k vyhlášení smogové situace, kdy inverzní charakter počasí spolu s již zmíněnými zdroji a lokálními průmyslovými podniky můžou koncentraci navýšit několikanásobně. [30, 34, 35]

Je možno konstatovat, že v období dnů s prouděním z jihozápadního kvadrantu průměrné měsíční koncentrace škodlivin klesají. Pro suspendované prachové částice při tomto typu proudění je imisní úroveň na návětrné straně Ostravy srovnatelná a podobná pozadíové úrovni nížinných a středních oblastí v celém Česku, naopak v severovýchodní části Ostravy a v jejím závětrí jsou hodnoty o přibližně 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  vyšší. Na druhé straně s rostoucí četností dnů s bezvětrím a dnů s prouděním ze severovýchodního kvadrantu průměrné koncentrace stoupají. Při proudění ze severovýchodního kvadrantu je imisní úroveň na všech stanicích, vyjma stanic Mariánských Hor a Bartovic, o cca 15-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  vyšší než při převládajícím proudění z jihozápadního kvadrantu. Jak lze vidět na Obrázek 3 Větrná růžice znázorňující převládající větry na území Ostravy převládající proudění vane ze severovýchodního směru a poukazuje i na přeshraniční přenos znečištění, kdy probíhá vzájemná výměna vzdušných hmot mezi oblastmi Ostravska v ČR a Katovicka v Polsku.



Obecně lze říci, že při dobrých rozptylových podmínkách jsou polutanty obvykle transportovány z Česka do blízkého přeshraníčí Polska, a opačně při špatných rozptylových podmínkách je tomu přesně naopak. [28, 36]



**Obrázek 3** Větrná růžice znázorňující převládající větry na území Ostravy

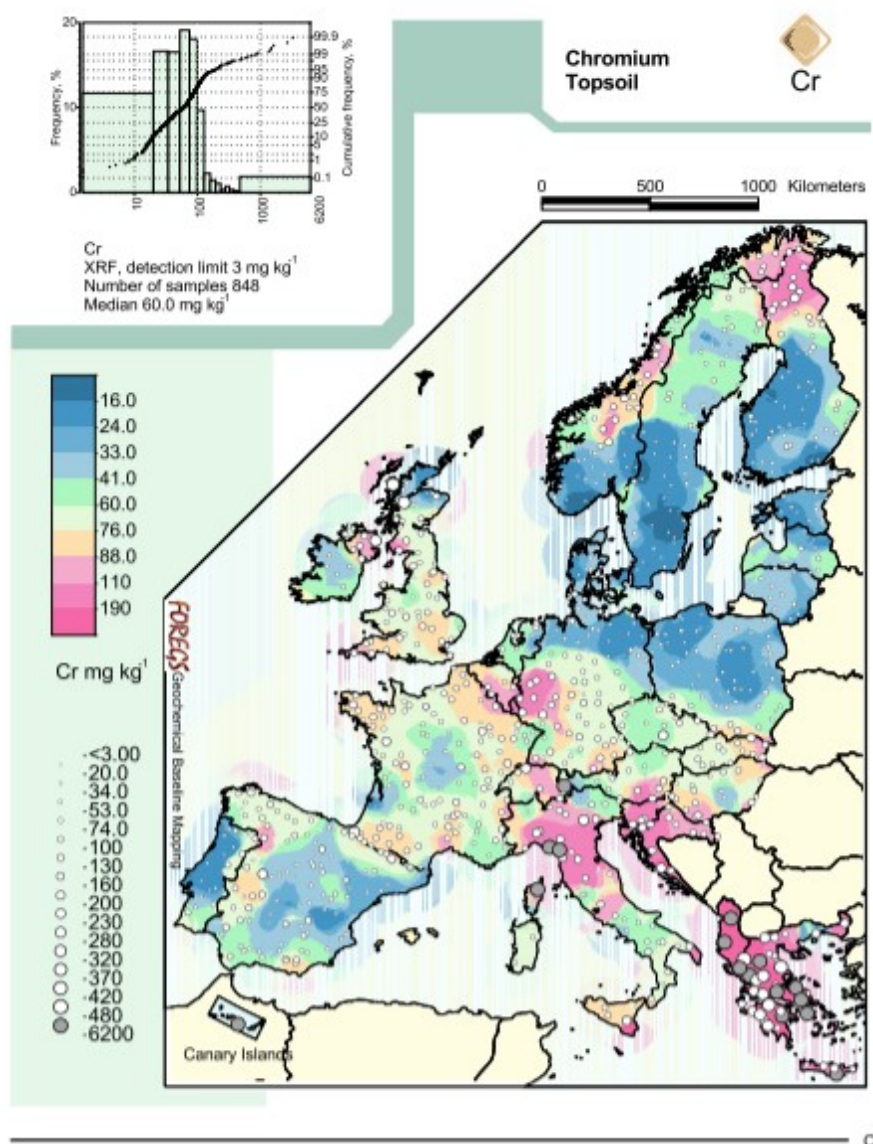
Zdroj: Podnebí Ostrava - meteoblue. [online]. Copyright © 2006 [cit. 19.08.2020].

Dostupné

z: [https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodelle/d/ostrava\\_%C4%8Cesko\\_3068799](https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodelle/d/ostrava_%C4%8Cesko_3068799)

### 3.3 Geochemie půd

Znázornění výskytu prvků ve svrchní vrstvě půd na Ostravsku je zobrazeno na mapě Evropy. Na následujících stránkách jsou vybrány některé prvky, pro které je ilustrován jejich výskyt.

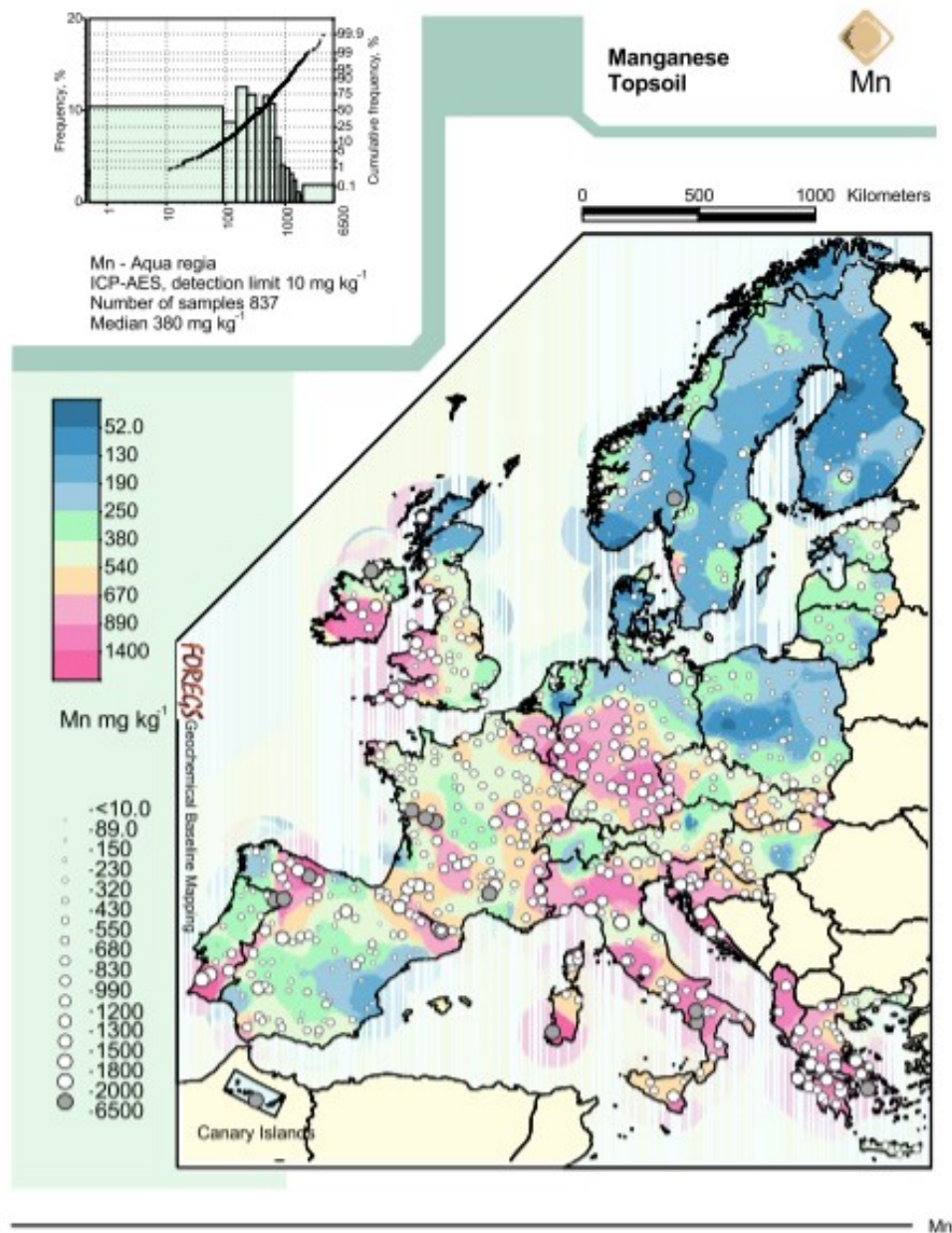


Obrázek 4 - Výskyt Cr

Zdroj: *Geochemical Atlas of Europe: Part 1 Background Information, Methodology and Maps* [online]. [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: [http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t\\_xrf\\_cr\\_edit.pdf](http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t_xrf_cr_edit.pdf)

Z Obrázek 4 - Výskyt Cr je patrné, že prvek Cr se v okolí města Ostravy vyskytuje ve středních hodnotách na škále, která je součástí tohoto obrázku.

Ostravské ovzduší je chromem kontaminováno vlivem dopravy, hutí a lokálním topením. Nejhorší situace je v Ostravě Radvanicích a v Mariánských Horách. [56]

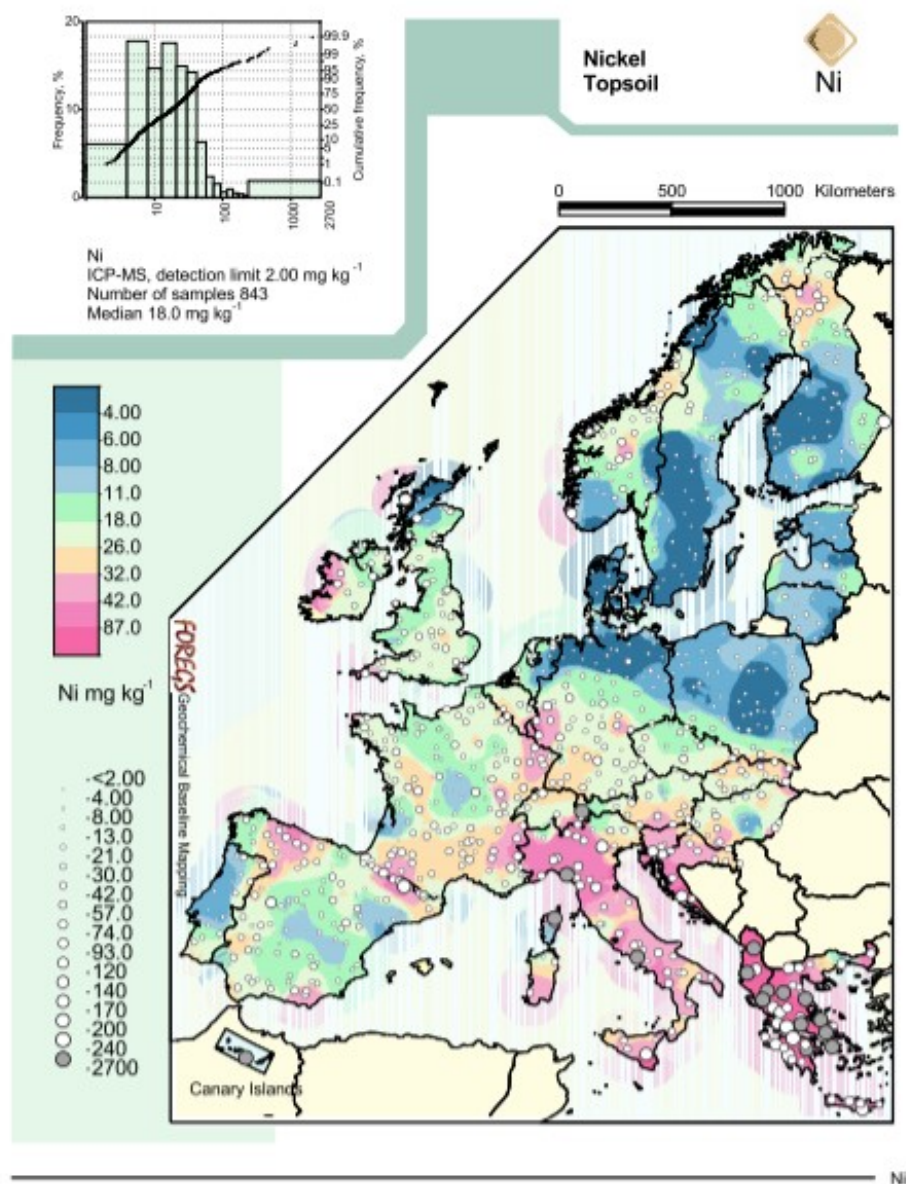


Obrázek 5 - Výskyt Mn

Zdroj: *Geochemical Atlas of Europe: Part 1 Background Information, Methodology and Maps* [online]. [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: [http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t\\_aricpaes\\_mn\\_edit.pdf](http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t_aricpaes_mn_edit.pdf)

Co se týče manganu, hodnoty jsou opět kolem střední hodnoty, ale přibližují se již spíše hodnotám vyšším.

Ovzduší v Ostravě je podle ostravského Zdravotnického ústavu též ve větší míře kontaminováno manganem. [56]

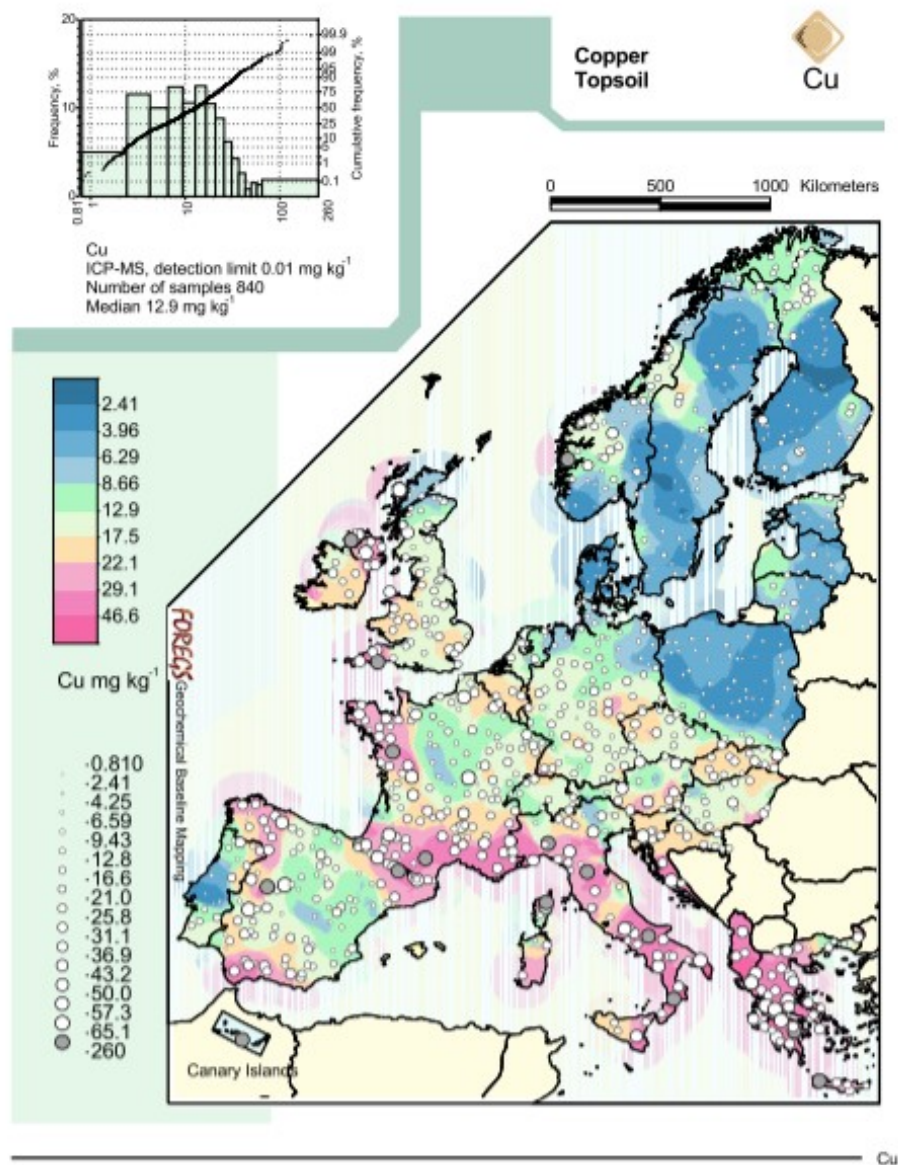


Obrázek 6 - Výskyt Ni

Zdroj: Zdroj: *Geochemical Atlas of Europe: Part 1 Background Information, Methodology and Maps* [online]. [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: [http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t\\_icpms\\_ni\\_edit.pdf](http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t_icpms_ni_edit.pdf)

Též nikl je na obrázku Obrázek 6 - Výskyt Ni vyznačen barvou pro průměrnou hodnotu vyskytující se téměř pro celé Česko.

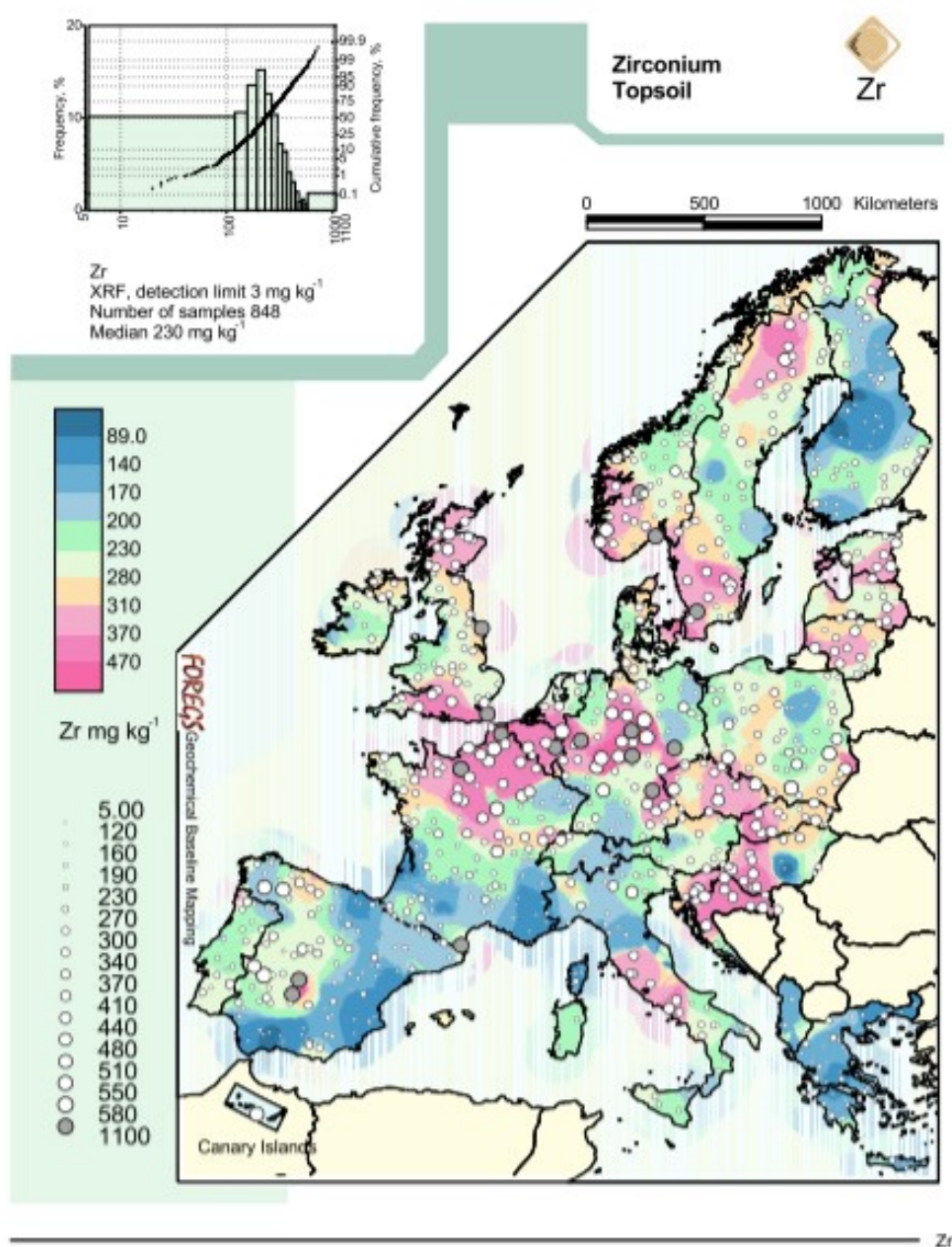




Obrázek 7 - Výskyt Cu

Zdroj: *Geochemical Atlas of Europe: Part 1 Background Information, Methodology and Maps* [online]. [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: [http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t\\_icpms\\_cu\\_edit.pdf](http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t_icpms_cu_edit.pdf)

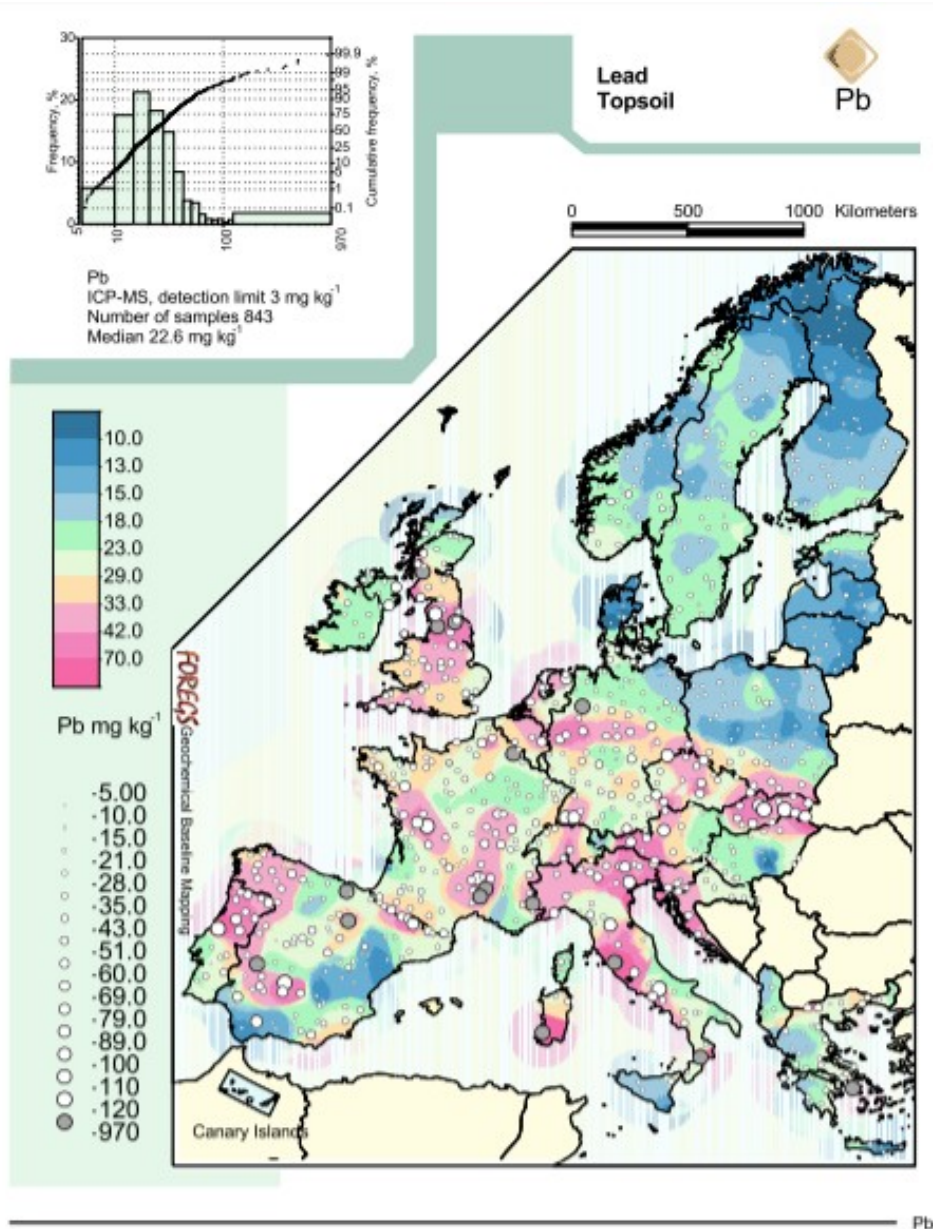
Výskyt mědi na Ostravsku je dokonce podle *Geochemical Atlas of Europe* stanoven na podprůměrné hodnotě, která byla vypočítána pro celou Evropu.



Obrázek 8 - Výskyt Zr

Zdroj: *Geochemical Atlas of Europe: Part 1 Background Information, Methodology and Maps* [online]. [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: [http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t\\_xrf\\_zr\\_edit.pdf](http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t_xrf_zr_edit.pdf)

Naopak zirkonium je evidováno ve vysoké míře. Právě na Ostravsku si můžeme všimnout růžové barvy a velkého kruhu, který značí, že se tento prvek vyskytuje opravdu ve vysokých hodnotách.



Obrázek 9 - Výskyt Pb

Zdroj: *Geochemical Atlas of Europe: Part 1 Background Information, Methodology and Maps* [online]. [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: [http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t\\_icpms\\_pb\\_edit.pdf](http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps/Topsoil/t_icpms_pb_edit.pdf)

Také hodnoty pro olovo jsou dosti vysoké, jak je vidět na obrázku Obrázek 9 - Výskyt Pb.

Na Ostravsku zjistili odborníci uhlíkaté částice, které obsahují částice olova. Nejhorší situace byla určena v městské části Mariánské Hory. [56]

### 3.4 Urbanizovaná plocha

Od doby, kdy začala v Evropě před mnoha tisíci let v oblasti Egejského moře vznikat první města, dochází k jejich růstu. V současnosti v městských oblastech žije až 65 % Evropanů. Výstavba měst však za sebou nechává též negativní dědictví v podobě znečištění půdy, vody a degradace krajiny, a to v důsledku výstavby budov, silničních a železničních sítí, těžby apod. [37]

Dále pak města znečišťují životní prostředí odpadními produkty lidské činnosti, průmyslem a dopravou. Především oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxid siřičitý, oxid dusný, fosforečnany a olovo přispívají ke skleníkovému efektu, acidifikaci půdy, vodních zdrojů a neblaze přispívají také k zdravotním problémům lidí. Mluvíme-li o znečišťování vodních zdrojů, dochází k nemá především v důsledku intenzivní industrializace a vypouštění znečištěné vody kovy do hlavních řek. Na základě toho pak dochází nejen ke zhoršení kvality vody, ale také k odstranění vodní bioty. Česká republika je uváděna jako jedna z oblastí, kde k tomuto jevu dochází. [37]

Jako další problém nesmíme opomenout obrovské množství domácího a průmyslového odpadu, který je pohřben na skládkách, spalován nebo chemicky zpracováván. Dumpingové postupy v minulosti vedly ke znečištění půdy, potoků a podzemních vod různými chemickými a biologickými kontaminujícími látkami, včetně organických sloučenin a patogenů. [37]

## 4 METODIKA ODBĚRU VZORKŮ

Vzorky silničního prachu byly odebrány z plochy 1 m<sup>2</sup> ze zpevněného asfaltového povrchu o hmotnosti cca 1 kg z 25 lokalit v Ostravě během letního a zimního období v roce 2018 do papírových sáčků. Pro odběr byla použita lopatka a nelakovaný dřevěný smetáček firmy SPOKAR se štětinami z pravé žíně. Po následném vysušení na vzduchu bylo odebrané množství vzorku zváženo na kalibrovaných vahách Sartorius Entris pro výpočet množství silničního prachu na m<sup>2</sup>.

Seznam lokalit a jejich lokalizaci je vložen v Příloha 1 – Seznam lokalit.

Vzorky sedimentů byly podle zrnitostní klasifikace sedimentů rozsítovány na sítěch firmy Eisco plastic sieve Fischerscientific o velikosti ok >2 mm (šterk), 2 – 0,063 mm (písek), < 0,063 (prach).



Tabulka 4 - Metody sběru různými autory, která se nachází pod tímto textem zobrazuje přehled autorů, jejich metodu sběru vzorku a použitý filtr. Přičemž různí autoři používají různé metody sběru s odlišnými filtry.

**Tabulka 4 - Metody sběru různými autory**

<b>Studie</b>	<b>Metoda sběru</b>	<b>Filtr</b>
Kong et al.	Plastový smeták, plastový sáček	Polypropylen
Lee et al.	Plastový smeták, plastová nádoba	Síto
Soltani et al.	Plastový smeták, plastový sáček	Nylonové síto
Ducret-Stich et al.	Vysoko a nízkoobjemový vzorkovač	Křemenový, Teflon
Gatto et al.	Nízkoobjemový vzorkovač	Polytetrafluorethylen
Gómez et al.	Vzorkovač středního objemu	Neznámý
Zereini et al.	Vysokoobjemový vzorkovač	Celulóza
Faiz et al.	Vysavač	Ocelové síto
Campen et al.	Vysavač	Teflon
Gelencsér et al.	Odfukovač listí	Křemenový
Jiang et al.	Plastový smeták, plastový sáček	Síto ze síťoviny

Zdroj: Road dust and its effect on human health: a literature review. [online].

Copyright © 2020 by Korean Society of Epidemiology. All rights reserved. [cit.

19.08.2020]. Dostupné z: [https://www.e-](https://www.e-epih.org/journal/view.php?number=966&fbclid=IwAR0TxSdLIXWrmiejuW4pVdPInl1Z1WxvaGdgGWVIGOuSB5v_6HZTvh73-Cw)

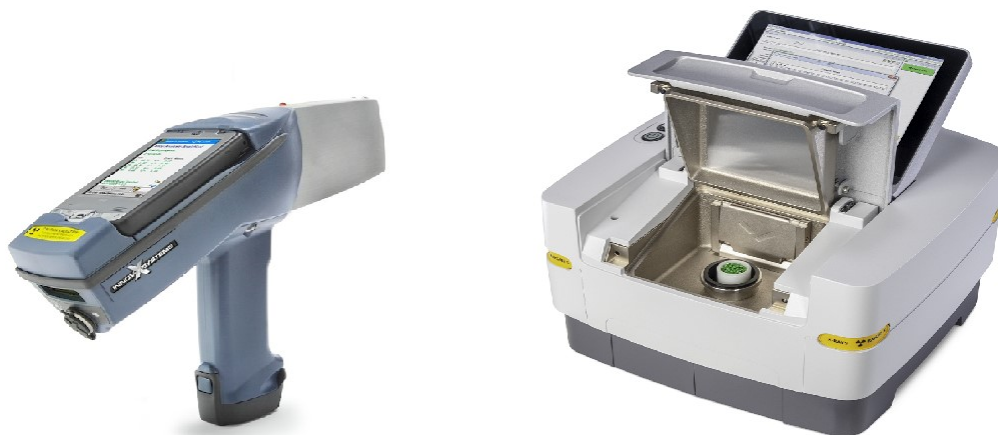
[epih.org/journal/view.php?number=966&fbclid=IwAR0TxSdLIXW](https://www.e-epih.org/journal/view.php?number=966&fbclid=IwAR0TxSdLIXWrmiejuW4pVdPInl1Z1WxvaGdgGWVIGOuSB5v_6HZTvh73-Cw)

[rmiejuW4pVdPInl1Z1WxvaGdgGWVIGOuSB5v\\_6HZTvh73-Cw](https://www.e-epih.org/journal/view.php?number=966&fbclid=IwAR0TxSdLIXWrmiejuW4pVdPInl1Z1WxvaGdgGWVIGOuSB5v_6HZTvh73-Cw)

#### **4.1 Chemická analýza metodou RTG-fluorescence**

Chemická analýza pomocí rentgenové fluorescence dokáže analyzovat prvky jako As, Ag, Al, Au, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fl, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, S, Si, Sn, Ti, V a Zn. Tato metoda byla použita pro stanovení prvků v půdách a také pro distribuci magnetické susceptibility v Ostravě. Jednalo se přitom o nedestruktivní stanovení celkem 26 různých chemických prvků.

Analýza se provádí spektrometrem. V dnešní době je na trhu k dostání dokonce i přenosný spektrometr, která může odhalit některé chemické prvky i v terénu a nemusí být využíván pouze v laboratoři.



**Obrázek 10 – X-Ray fluorescence spectrometer**

Zdroj: Next Generation X-Ray Fluorescence Spectrometer | powderbulksolids.com.  
powderbulksolids.com [online]. Dostupné

z: <https://www.powderbulksolids.com/instrumentation-control/next-generation-x-ray-fluorescence-spectrometer>; *RUČNÍ RENTGENOVÝ ANALYZÁTOR ALPHATM* [online].  
[cit. 2020-08-22]. Dostupné

z: [https://www.spektrometry.cz/analyzatory/rucni\\_analyzator\\_alpha\\_kovy.php](https://www.spektrometry.cz/analyzatory/rucni_analyzator_alpha_kovy.php)

Pomocí XRF fluorescenční metody byl v lokalitách 1-25 sledován výskyt kovů ve vzorech silničního prachu během zimní a letní sezóny v roce 2018. Tyto údaje vychází z tabulek, které jsou vloženy v Příloha 4 – Koncentrace kovů ve vzorcích - léto 2018 a Příloha 5 – Koncentrace kovů ve vzorcích zima 2018.

V zimním období byly zaznamenány nejvyšší koncentrace Fe, Zn, Sn, Sb, Pb, Th, Al, Ni a Sr pro Ostravu Radvanice a Bartovice. Pro Ostravu Vítkovice byly zjištěny nejvyšší koncentrace pro Ca, Cu, As, Mo a U, pro lokalitu Ostrava Mariánské Hory pro P, Cr a Mn.

Naopak během léta byly nejvyšší koncentrace kovů různé podle lokalit. Al, Mn, Fe, Zn, Sn a Sb byly v nejvyšší koncentraci indikovány pro městskou část Ostrava Radvanice a Bartovice, Pb, U, Mo, As, Cu, P, Ti, Ni a Sr byly v nejvyšší koncentraci zjištěny pro Ostravu – Vítkovice.

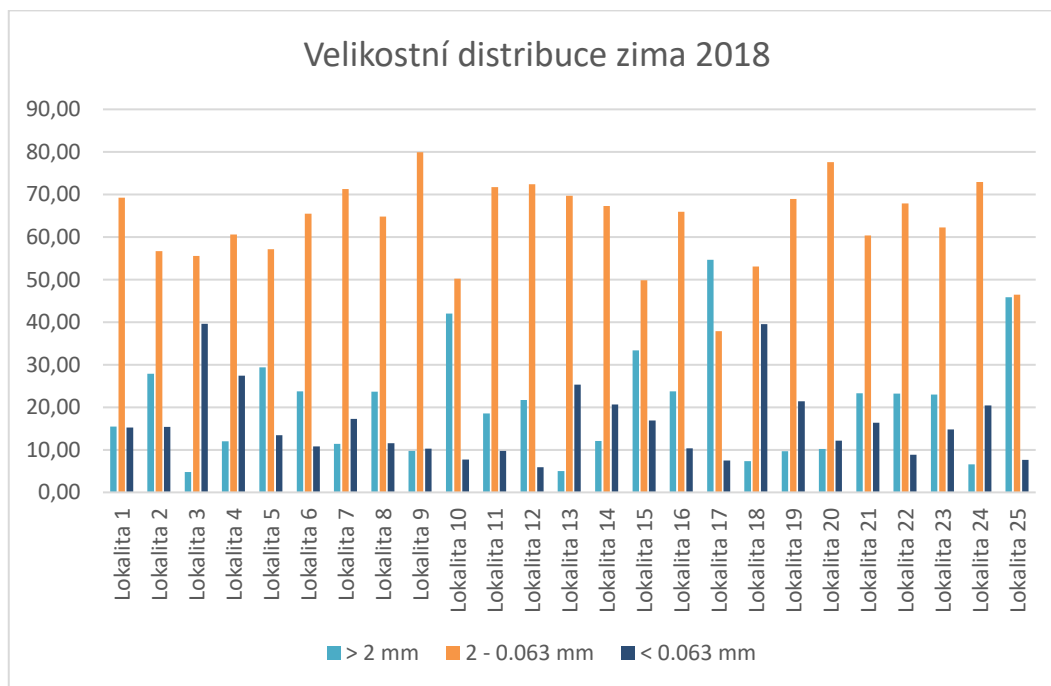
Ve vzorcích ze zimní sezóny byla zaznamenána přítomnost C1 (0-12.18 %), ve vzorcích z léta zcela chybí.

## 4.2 Velikost částic jako kritérium zdroje znečištění

Situaci v jednotlivých lokalitách v zimě 2018 s ohledem na velikost částic v procentech znázorňuje Graf 2 – Velikostní distribuce zima 2018.

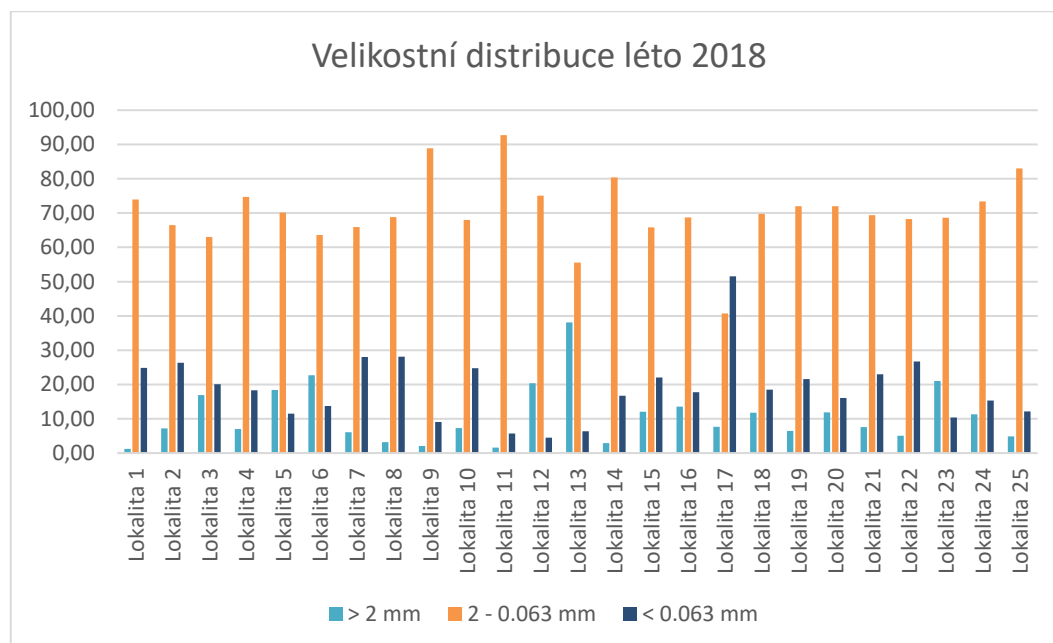
Na grafu umístěném pod tímto textem je velmi dobře viditelné, že v zimním období se distribuují nejvíce částice střední velikosti, tedy ve velikosti od 0,063 mm do 2 mm, a to téměř ve všech lokalitách. Výjimku tvoří pouze lokalita 17, kde dochází k největší distribuci částic větších jak 2 mm.

**Graf 2 – Velikostní distribuce zima 2018**



V letním období je situace obdobná, vyjma lokality 17 se nejvíce distribuují částice ve velikosti od 0,063 do 2 mm. Situaci v jednotlivých lokalitách v létě 2018 s ohledem na velikost částic v procentech znázorňuje Graf 3 – Velikostní distribuce léto 2018.

**Graf 3 – Velikostní distribuce léto 2018**



### 4.3 Stanovení vodorozpustného podílu a jeho složení

V následujících tabulkách jsou vypsány hodnoty zkoumaných vodorozpustných látek v mg na kg.

**Tabulka 5 – Složení vodorozpustného podílu v zimě 2018 – 1.část**

Lokalita č.	F <sup>-</sup> mg/kg	Cl <sup>-</sup> mg/kg	(NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup> mg/kg	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup> mg/kg	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> mg/kg	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> mg/kg	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup> mg/kg
1	2,34	15 366,62	4,84	5,92	0,12	949,48	0,04
2	9,48	611,79	0,25	2,99	0,14	1 050,92	0,07
3	5,97	229,55	0,02	3,00	0,01	267,95	1,14
4	2,40	13 410,00	0,83	30,10	1,73	775,80	1,11
5	0,98	1 505,60	3,47	11,06	2,08	268,88	10,98
6	2,08	17 815,60	5,72	6,08	0,05	1 420,38	0,07
7	3,17	9 770,22	4,07	6,31	0,30	937,74	2,89
8	4,68	815,16	0,01	2,17	0,11	621,32	0,18
9	2,60	24 056,80	2,10	29,40	0,25	1 489,40	0,60
10	0,67	9 747,75	0,36	5,68	0,83	430,79	30,41

Lokalita č.	F <sup>-</sup> mg/kg	Cl <sup>-</sup> mg/kg	(NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup> mg/kg	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup> mg/kg	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> mg/kg	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> mg/kg	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup> mg/kg
11	2,28	18 873,49	0,06	7,70	0,74	3 097,30	0,76
12	1,76	25 278,30	0,07	10,80	0,06	650,19	8,47
13	1,34	621,30	1,70	7,17	0,17	286,21	32,17
14	1,83	3 945,93	0,61	5,33	0,35	783,31	52,37
15	2,47	3 340,76	2,05	14,03	0,03	350,24	9,94
16	2,86	4 014,71	0,67	7,22	0,03	1 049,62	9,30
17	2,30	42 446,50	6,80	33,00	0,12	1 206,90	1,94
18	2,41	3 815,48	0,78	2,98	0,10	468,64	0,13
19	0,90	18 131,10	1,80	38,80	0,30	942,70	10,10
20	1,40	14 873,40	1,10	29,50	0,25	638,80	1,33
21	1,70	10 250,10	0,07	31,40	1,24	927,50	26,98
22	2,30	41 543,50	0,70	38,60	0,10	1 756,80	5,23
23	2,01	297,31	0,07	9,44	0,01	217,47	1,47
24	1,50	1 636,73	1,03	5,86	0,22	239,19	13,59
25	0,44	64,65	25,22	45,30	0,99	183,47	0,01
<b>Průměr</b>	2,47	11298,49	2,58	15,59	0,41	840,44	8,85
<b>směrodatná odchylka</b>	1,87	12167,02	5,09	13,86	0,56	638,16	13,20
<b>medián</b>	2,28	9747,75	0,83	7,70	0,17	775,80	1,94
<b>max</b>	9,48	42446,50	25,22	45,30	2,08	3097,30	52,37
<b>min</b>	0,44	64,65	0,01	2,17	0,01	183,47	0,01

Tabulka 6 - Složení vodorozpustného podílu v zimě 2018 – 2.část

Lokalita č.	Na <sup>+</sup> mg/kg	K <sup>+</sup> mg/kg	Ca <sup>2+</sup> mg/kg	Mg <sup>2+</sup> mg/kg	Li <sup>+</sup> mg/kg	Sr <sup>2+</sup> mg/kg
1	10 940,40	69,16	544,00	238,84	0,20	3,10
2	397,69	56,56	583,08	149,44	0,34	0,67
3	165,75	27,18	427,15	98,51	0,23	0,03
4	8 384,90	74,90	662,70	177,10	0,60	1,97
5	940,29	27,76	222,17	180,39	0,08	0,03
6	13 029,80	94,62	622,80	269,90	0,58	5,16
7	7 020,25	72,95	901,22	275,71	0,22	5,70

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Li <sup>+</sup>	Sr <sup>2+</sup>
Lokalita č.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
8	868,57	42,03	157,22	86,47	0,07	0,01
9	15 793,30	103,20	709,80	176,50	0,40	0,09
10	7 027,19	90,14	727,60	291,30	0,07	1,31
11	16 052,59	66,47	642,35	477,31	0,08	9,68
12	22 975,64	76,96	256,98	250,08	0,17	1,14
13	399,69	51,72	211,73	214,44	0,08	0,52
14	2 605,36	107,93	453,12	274,31	0,16	1,11
15	2 488,87	37,18	194,79	126,13	0,07	0,03
16	2 298,09	213,37	386,88	323,88	0,14	1,87
17	28 339,40	107,20	547,40	335,90	0,40	0,30
18	2 746,35	38,36	229,92	81,96	0,17	0,31
19	11 144,00	87,50	811,20	263,70	0,60	0,30
20	9 523,50	52,80	329,20	105,80	0,50	0,04
21	6 624,90	86,60	448,50	139,60	0,50	0,01
22	27 916,50	87,30	515,70	399,30	0,50	0,02
23	189,53	33,15	173,73	129,52	0,07	0,04
24	1 132,35	52,27	348,06	176,93	0,12	1,11
25	210,93	46,13	218,79	91,68	0,07	0,02
Průměr	7968,63	72,14	453,04	213,39	0,26	1,38
směrodatná odchylka	8603,14	38,67	217,50	103,09	0,19	2,31
medián	6624,90	69,16	448,50	180,39	0,17	0,31
max	28339,40	213,37	901,22	477,31	0,60	9,68
min	165,75	27,18	157,22	81,96	0,07	0,01

Tabulka 7 - Složení vodorozpustného podílu v létě 2018 - 1. část

	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	(NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup>	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup>	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>
Lokalita č.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	1,38	41,73	0,06	3,94	0,01	179,84	0,02
2	4,19	40,41	8,05	23,62	0,17	892,08	1,47
3	3,94	17,35	1,34	7,83	5,09	213,05	5,45
4	1,44	104,37	0,38	31,89	0,06	460,36	2,05
5	0,70	8,16	1,53	8,47	2,71	115,91	3,76
6	0,83	31,85	0,03	4,89	0,30	608,44	3,00

	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	(NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup>	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup>	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>
Lokalita č.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
7	0,90	48,65	3,09	6,56	0,04	217,88	2,16
8	1,76	19,91	0,32	7,18	0,11	190,62	3,70
9	0,93	381,70	0,28	5,50	0,01	349,09	0,10
10	6,87	26,86	10,19	15,25	5,70	289,53	48,59
11	3,70	16,78	1,81	27,32	3,23	322,31	5,33
12	1,02	143,32	0,02	3,16	2,10	313,23	0,62
13	1,13	10,84	4,07	22,61	3,66	84,58	7,08
14	1,22	45,94	3,06	6,91	2,11	428,52	0,42
15	0,59	21,29	1,45	56,02	2,34	302,14	3,70
16	1,28	32,98	2,84	7,85	6,66	117,05	1,69
17	0,98	34,97	0,84	6,43	0,05	134,68	8,84
18	0,95	20,17	5,03	9,56	0,53	154,77	3,95
19	1,08	50,90	5,99	15,74	0,79	169,60	pod0,01
20	1,04	56,84	27,17	28,48	0,93	191,09	1,59
21	0,44	64,65	25,22	45,30	0,99	183,47	9,62
22	1,03	145,54	4,25	46,32	0,05	366,98	0,73
23	3,65	66,88	0,22	84,65	2,84	898,99	pod0,01
24	1,16	10,01	5,64	17,65	0,36	106,05	22,50
25	2,85	30,43	0,03	3,03	3,76	158,74	0,09
Průměr	1,80	58,90	4,52	19,85	1,78	297,96	5,93
směrodatná odchylka	1,54	76,65	7,07	20,05	1,98	219,58	10,49
medián	1,13	34,97	1,81	9,56	0,93	213,05	3,00
max	6,87	381,70	27,17	84,65	6,66	898,99	48,59
min	0,44	8,16	0,02	3,03	0,01	84,58	0,02

Tabulka 8 - Složení vodorozpustného podílu v létě 2018 – 2.část

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Li <sup>+</sup>	Sr <sup>2+</sup>
Lokalita č.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	53,49	21,04	185,10	117,48	0,07	pod0,01
2	48,25	74,02	77,48	153,08	0,09	0,04
3	24,55	32,01	209,20	88,80	0,07	pod0,01
4	120,22	37,67	261,29	145,41	0,08	0,15
5	22,91	15,00	125,94	85,92	0,05	pod0,01
6	45,35	19,26	175,87	113,10	0,05	pod0,01
7	55,95	12,27	172,39	75,94	0,05	pod0,01
8	79,92	25,14	150,85	98,39	0,07	pod0,01

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Li <sup>+</sup>	Sr <sup>2+</sup>
Lokalita č.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
9	243,37	15,15	146,08	92,06	0,07	pod0,01
10	58,60	96,24	317,48	233,90	0,08	0,12
11	21,58	40,78	323,09	98,67	0,07	0,67
12	213,58	10,83	93,43	61,19	0,07	pod0,01
13	22,66	33,59	149,48	87,76	0,05	pod0,01
14	58,84	26,00	192,72	138,38	0,06	pod0,01
15	53,26	26,01	165,61	101,94	0,05	pod0,01
16	74,50	53,44	150,67	96,77	0,06	pod0,01
17	45,66	21,32	203,30	141,97	0,07	pod0,01
18	42,31	21,36	164,07	95,62	0,06	pod0,01
19	67,08	15,78	135,02	85,99	0,05	pod0,01
20	98,03	35,57	256,39	164,31	0,08	0,04
21	108,87	33,39	206,12	144,79	0,08	pod0,01
22	135,17	30,23	230,57	178,91	0,08	0,21
23	128,48	56,85	221,22	160,25	0,09	0,09
24	20,53	25,62	247,36	162,03	0,05	pod0,01
25	44,03	33,76	154,69	63,31	0,04	pod0,01
Průměr	75,49	32,49	188,62	119,44	0,07	0,19
směrodatná odchylka	57,00	19,83	60,88	41,39	0,01	0,22
medián	55,95	26,01	175,87	101,94	0,07	0,12
max	243,37	96,24	323,09	233,90	0,09	0,67
min	20,53	10,83	77,48	61,19	0,04	0,04

Při zkoumání hodnot v V následujících tabulkách jsou vypsány hodnoty zkoumaných vodorozpustných látek v mg na kg.

Tabulka 5 – Složení vodorozpustného podílu v zimě 2018 – 1.část zjistíme, že v zimním období je průměrné množství Cl<sup>-</sup> v silničním prachu 11 298,48 mg/kg, zatímco hodnota v létě udávaná v Tabulka 7 - Složení vodorozpustného podílu v létě 2018 - 1. část je to pouze 58,90 mg/kg.

Pokud se podíváme na hodnoty Na<sup>+</sup> v Tabulka 6 - Složení vodorozpustného podílu v zimě 2018 – 2.část zjistíme, že v zimním období je hodnota Na<sup>+</sup> 8 603,14 mg/kg, zatímco Tabulka 8 - Složení vodorozpustného podílu v létě 2018 – 2.část ukazuje, že v letním období



se jedná o 75,49 mg/kg. Zvýšená koncentrace  $\text{Na}^+$  není ve městech ničím výjimečným. Je způsobená především využitím posypových materiálů v zimním období. Někde může být koncentrace zvýšená také díky výskytu tzv. mořského aerosolu. Přenos mořského aerosolu je ale pro území České republiky velmi malý a mizivý. 10–40 gramů soli na jeden metr čtvereční. Záleží ale na povětrnostních podmínkách. [51]

To, že se objevuje zvýšená koncentrace vápníku v Ostravě-Radvanicích, ale i v celém regionu bezpochyby můžeme přisuzovat výrobě železa a oceli, v období s prouděním větru z Moravské brány také s výrobou cementu v cementárně Hranice.

Pokud bychom se podívali na koncentraci draslíku v aerosolu, je jeho výskyt v tomto případě způsoben spalováním biomasy ale také díky metalurgii. Samozřejmě, že se přidávají také jiné emisní zdroje, ale ty nejsou tak významné. Vrátime se ale k metalurgii, zde se totiž používá KCl při spékání železných rud, což má za následek zvýšení koncentrace draslíku ale také chloru. Chloridy jsou významnou součástí prachových částic uvolňovaných při aglomeraci Fe-rud, které mohou obsahovat až 30 % [52].

#### 4.4 Podíl biogenní hmoty v silničním prachu

Jak již bylo zmíněno, silniční prach představuje heterogenní směs částic různých velikostí a složek, které jsou buď antropogenního, biogenního nebo minerálního původu. Proces žihání, který probíhal při teplotě 815 °C umožnil oddělit veškerý organický podíl jako je například opadané listí, kaučuk, zbytky rostlin apod. Tento materiál při takto vysoké teplotě shoří.

Níže můžete vidět tabulku ztráty organické hmoty v letním a zimním období roku 2018.

Tabulka 9 – Ztráty organické hmoty v zimě 2018 a v létě 2018

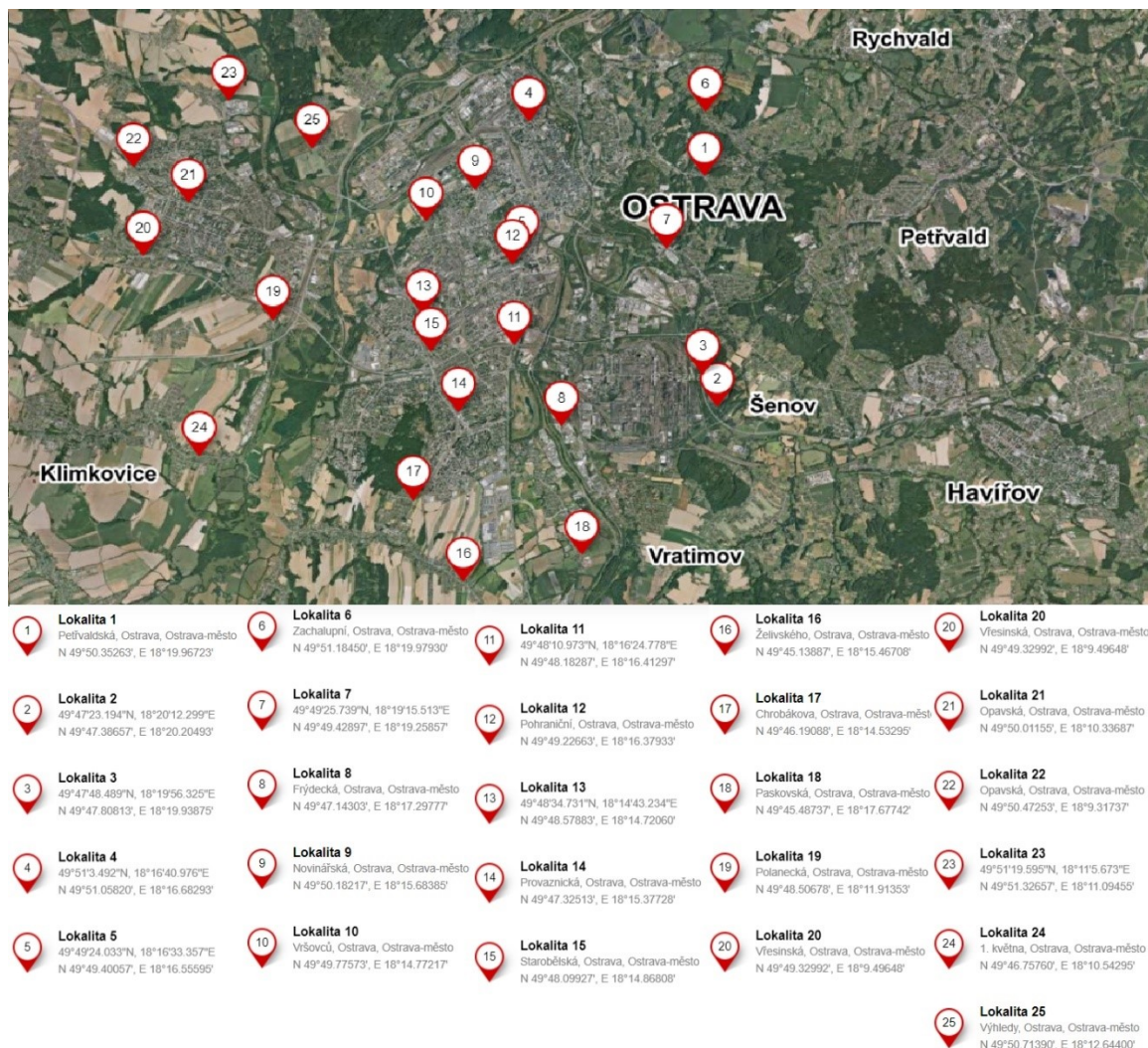
Vzorek	ztráta žiháním 815 °C	
	zima 2018	léto 2018
Lokalita 1	12,29	10,71
Lokalita 2	13,43	10,13
Lokalita 3	13,36	7,04
Lokalita 4	13,42	8,34
Lokalita 5	11,59	8,35

Vzorek	ztráta žiháním 815 °C	
	zima 2018	léto 2018
Lokalita 6	13,35	4,77
Lokalita 7	15,08	4,69
Lokalita 8	9,24	7,85
Lokalita 9	13,67	5,37
Lokalita 10	17,51	12,77
Lokalita 11	13,17	9,09
Lokalita 12	16,15	8,98
Lokalita 13	17,01	7,93
Lokalita 14	15,91	8,90
Lokalita 15	9,56	5,75
Lokalita 16	12,61	8,09
Lokalita 17	8,75	6,97
Lokalita 18	11,77	8,30
Lokalita 19	12,09	4,97
Lokalita 20	16,91	11,18
Lokalita 21	10,89	9,61
Lokalita 22	13,50	9,82
Lokalita 23	12,81	8,88
Lokalita 24	12,05	5,99
Lokalita 25	10,37	5,61
Průměr	13,06	8,00
směrodatná odchylka	2,39	2,13
medián	13,17	8,30
max	17,51	12,77
min	8,75	4,69

## 5 METODY PRO IDENTIFIKACI ZDROJŮ ZNEČIŠTĚNÍ

Následující kapitola popisuje metody pro identifikaci zdrojů znečištění jako je index nabohacení, mineralogická fázová analýza či optické metody. Dále popisuje posypové materiály využívané v ČR, potažmo v Evropě, protože jejich znalost pomáhá k vysvětlení přítomnosti některých prvků ve vzorcích.

Pro tuto práci byly vzorky sebrány z 25 lokalit v městě Ostrava. Seznam těchto lokalit je uveden v příloze Příloha 1 – Seznam lokalit a je zobrazen na Obrázek 11 - Seznam lokalit, který se nachází pod tímto textem.



Obrázek 11 - Seznam lokalit

Zdroj: Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?vlastni-body&x=18.3061007&y=49.8094178&z=12&sid=5f43bd54347678e1c669c4ef>

## 5.1 Index nabohacení

Pro index nabohacení bylo jako prvek pozad'ové hodnoty použito zirkonium. Tabulky s hodnotami jsou součástí příloh - Příloha 6 – Index nabohacení pro vybrané prvky v létě 2018 a Příloha 7 - Index nabohacení pro vybrané prvky v zimě 2018. Při zkoumání těchto tabulek zjistíme, že v zimě je index nabohacení prvky vyšší než přes léto. To může být způsobeno faktem, že se používá chemických a jiných cest k odstranění námrazy a sněhu.

$$EF = \left( \frac{C_n}{C_{ref}} \right)_{sample} / \left( \frac{B_n}{B_{ref}} \right)_{background}$$

Jestliže je hodnota  $EF > 1$ , pak se předpokládá, že prvek je v prostředí relativně obohacen v případě  $EF > 5$  pak prvek pochází z antropogenních zdrojů (Enemorado-Báez et al. 2015), hodnota  $EF$  v rozmezí 20-40 je považována za velmi obohacenou a  $EF > 40$  extrémně vysoce obohacenou.

## 5.2 Srovnání hodnot z různých oblastí (Ostrava x Olomouc)

Za základní ukazatel kvality prostředí se považuje množství silničního prachu vztažené na jednotku plochy, tedy metr čtvereční. Tento ukazatel byl jako nejnížší vyhodnocen v městské části Ostrava-Jih a jednalo se o hodnotu  $47 \text{ g/m}^2$ . Naopak nejvyšší množství prachu bylo indikováno v Ostravě-Vítkovicích, a to dokonce  $1,37 \text{ kg/m}^2$ . průměrná hodnota dosahovala  $229.7 \pm 88.97 \text{ g/m}^2$ . O tomto tématu budeme ještě hovořit v kapitole 6.4.

Podobné výsledky však byly odhaleny ve městě Olomouc, které má ve svém okolí pouze potravinářský průmysl. Zde nejnížší hodnoty dosahovaly v pozdním létě  $67.6 \text{ g/m}^2$  a nejvyšší potom  $491.47 \text{ g/m}^2$ . Oproti očekáváním je dokonce průměrná hodnota vyšší než pro Ostravu  $274.71 \pm 114.80 \text{ g/m}^2$ .

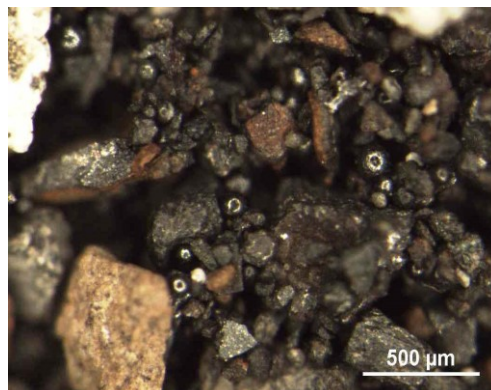
## 5.3 Mineralogická fázová analýza

Mineralogická fázová analýza byla provedena na difraktometru Bruker-AXS D8 Advance (Německo) s  $2\theta/\theta$  geometrií měření a s pozičně citlivým detektorem LynxEye za podmínek: Záření  $\text{CuK}\alpha/\text{Ni}$  filtr, napětí 40kV, proud 40 mA, krokový režim s krokem  $0.014^\circ 2\theta$ , s celkovým časem na kroku 2 s (sumace pěti měření s krokem 0.25 s) a s digitálním zpracováním výsledných dat.





Obrázek 12 - Lokality 12 (léto, magnetické částice)



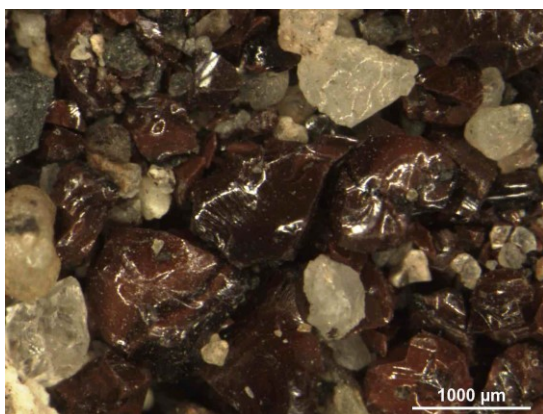
Obrázek 13 - Lokality 9 (léto, magnetické částice)



Obrázek 14 - Lokality 1 (zima, magnetické částice)



Obrázek 15 - Lokality 6 (léto)



Obrázek 16 - Lokality 12 (léto)



Obrázek 17 - Lokality 6 (zima)

Na obrázcích výše jsou snímky z různých lokalit a různých období. Na snímcích je vždy znázorněno měřítko pro porovnání velikosti částic vzorku.

## 5.4 Optické metody

Identifikace jednotlivých minerálů byla prováděna pomocí auto-emisního rastrovacího elektronového mikroskopu FEI Quanta-650 vyráběného společností FEI. Standardizované

analýzy byly prováděny pouze pomocí korekcí koncentrací světelných prvků na základě sady standardních materiálů. Pracovní podmínky mikroskopu byly: vysokonapěťové 15 kV, proud 8–10 nA, průměr paprsku 5,5 mm, nízký podtlak s tlakem v komoře 50 Pa, vzorky bez kovového povlaku. Energeticky disperzní mikroanalýzy získané za těchto podmínek by měly být považovány za semikvantitativní. Identifikace spektrálních čar byla provedena spektrálním rozkladem pomocí funkce maximální dekonvoluce.

K pozorování byl využit mikroskop Olympus SZ X10. Zde se ovšem ukázalo, že vzorky vykazovaly silně heterogenní charakter. Pro správné určení složení materiálu se jako velký problém ukázal být konstrukční stav vozovek. To s sebou přináší další problémy, protože do jednotlivých vrstev vozovky se přidává struska či jiný odpadní materiál. Díky tomu se do silničního prachu mechanicky dostávají tyto nečistoty.

## 5.5 Posypové materiály

Pro zajištění sjízdnosti komunikací během zimního období se prakticky na celém evropském území využívají dva základní druhy posypových materiálů. Jedná se o:

- zdrsňující posypové materiály
- chemické rozmrazovací materiály. [54]

Posypové materiály jsou definovány jako látky, které mechanickým způsobem zvyšují součinitel tření zledovatělé nebo ujeté sněhové vrstvy na vozovce. [53]

Za chemické rozmrazovací materiály považujeme látky, které svými vlastnostmi způsobují fyzikálně chemickou změnu sněhu a ledu, a tím je zapříčiněno jejich tání na vozovkách. Jsou využívány k předcházení vzniku náledí. Lze používat např. chlorid sodný, chlorid vápenatý a směsi obou chloridů. Používají se ve formě posypu, postřiku nebo jako zvlhčovaná (zkrápěná) sůl. [53]

Použitím chemických rozmrazovacích materiálů při zimní údržbě vozovky se zabývá vyhláška č.338/2015 Sb. ve znění pozdějších předpisů, jenž novelizovala vyhlášku č. 104/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Obecně je na evropském území nejvíce doporučováno využití chloridu sodného a chloridu vápenatého.  $\text{CaCl}_2$  má však negativní účinky na beton. Dalšími možnostmi, které se nabízejí jsou alkoholy, močovina a glykoly. Vzhledem k jejich finanční náročnosti však mohou být využívány pouze za zcela limitovaných okolností. [54]

V České republice se v posledních letech pro zimní posyp obecně dává přednost posypovým materiálům, které jsou svým složením a fyzikálními vlastnostmi nejvíce přijatelné pro životní prostředí. Již od roku 1985 není v ČR povoleno skladovat chemické posypové materiály na venkovních otevřených skládkách. Skladování soli je nutné provádět v halách nebo silech. [54]

Proces posypu probíhá tak, že sypač naplněný posypovým materiálem a v činnosti musí ujet konstantní rychlostí určitou dráhu při nastavené dávce a šířce posypu na ovládacím panelu sypače pro definované zkušební nastavení. Dávkovaný materiál není rozmetadlem rozmetán. Zachytává se do zásobníku na délkově definovaném úseku (bázi) postupně pro jednotlivá zkušební nastavení dle čl. 4.2, nastavovaná na ovládacím panelu sypače. Z každého zachyceného celkového množství se následně stanoví skutečné dávkování a odchylka. [55]

## **6 ZPŮSOBY NAKLÁDÁNÍ SE SILNIČNÍMI SMETKY**

Tato kapitola shrnuje způsoby nakládání se silničními smetky, popisuje údržbu silnic v Ostravě a snahu zamezit vniku nebezpečných látek ze silničních smetků do ovzduší, dále popisuje technické možnosti odloučení posypových materiálů.

### **6.1 Údržba silnic**

V Ostravě je celkem 366 km státních, krajských a městských komunikací. Tyto komunikace jsou rozděleny do tří kategorií podle prachových map. Podle těchto kategorií se určuje frekvence čištění dané komunikace. Ačkoli zákonem je stanoveno, že čištění cest musí probíhat dvakrát ročně, v Ostravě se čistí i šestkrát za měsíc. Čištění je prováděno Ostravskými komunikacemi. Jako technika jsou využívána zametací a kropící vozidla. Dalších deset speciálních čistících vozů mají ještě městské obvody a jejich technické služby. [40]

Pravidelná údržba silnic v podobě čištění je důležitá pro omezení míry resuspendace škodlivého silničního prachu do ovzduší. Jednou z možností údržby silnic je zametení povrchu a následné čištění proudem vody. Takovýto druh údržby může krátkodobě snížit množství silničního prachu. Údržba se tedy ideálně provádí přes noc. Výsledkem je nejen čistější ulice z estetického hlediska ale také z pohledu snížení resuspendace silničního prachu. [38]

Samotný proud vody není dostatečný k tomu, aby důkladně smyl silniční prach. Leda by byl proud extrémní. Proto se volí kombinace zametení a následného čištění vodou. V práci Normana a Johanssona z roku 2006 se píše, že za použití vysokotlakých čističů bylo pozorovatelné snížení silničního prachu mezi 2–15 %. Je opět třeba zdůraznit, že se jedná o krátkodobý efekt a čištění je nutné opakovat každý den, resp. noc. [38]

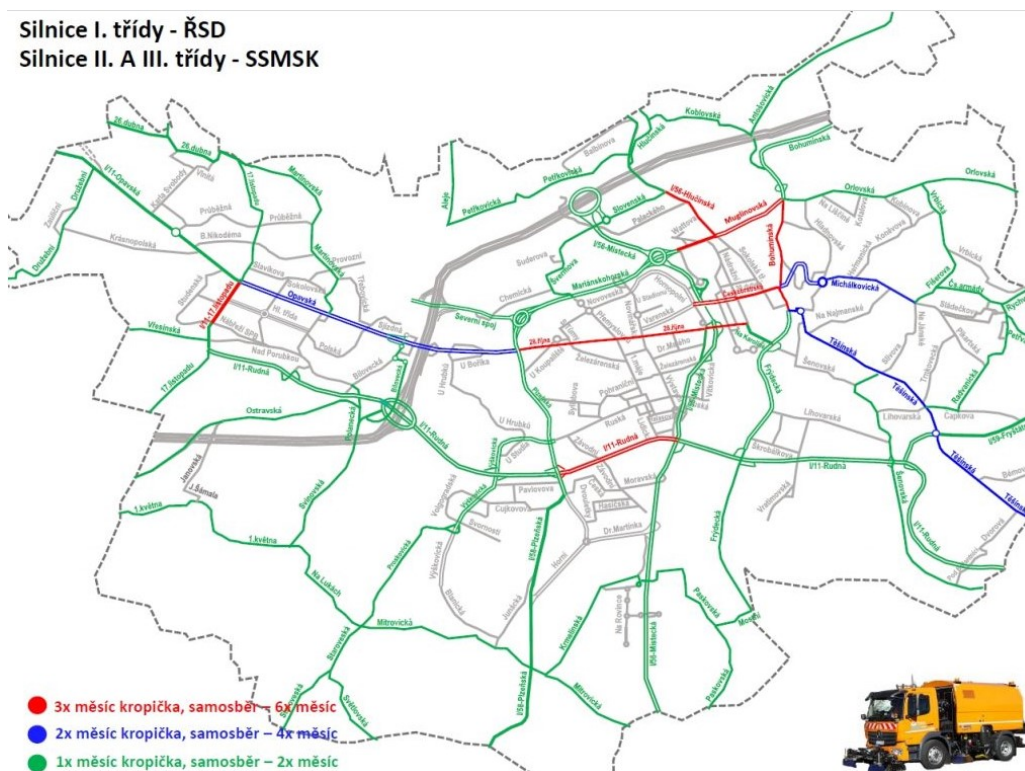
V zimních měsících probíhá pravidelná údržba silnic za použití nejrůznějších chemických látek a posypů. Vozovka se musí udržovat sjízdná a provozuschopná. Používají se tedy chemikálie a látky, které zvyšují tření mezi pneumatikou a vozovkou, zabraňují tvorbě námrazy apod. V tomto zimním období jde zpravidla o rychlost. V posledních letech poptávka po údržbě silnic v zimním období rapidně stoupla. Řeší se především rychlost zprovoznění komunikace, jako je odstranění sněhu či námrazy. Počasí je ale nevyzpytatelnou záležitostí, a proto se používají také agresivnější chemikálie pro rychlé odstranění sněhu či námrazy. To s sebou přináší také zvýšení emisí z této údržby. Také se přišlo na to, že je vhodné odstraňovat sníh podle jeho vrstvy na silnici a podle maximální povolené rychlosti v daném úseku. Obecně se ale má za to, že je vhodné odstraňovat sníh již v době, kdy napadlo půl centimetru sněhu. Nebude tolik emisí od vozů, které se snaží na sněhu udržet maximální povolenou rychlost a za druhé se sníží počet emisí také od vozů od údržby.

V rámci zimní údržby se podle dostupných dat v rámci České republiky spotřebuje cca 168 000 tun posypové soli, 348 000 tun písku a 91 000 tun inertního materiálu. Tyto materiály musejí být testovány na nezávadnost, kdy je pomocí vodného výluhu sledována koncentrace As, Be, Ba, Cr, Cd, Co, Ni, Pb, Hg, V, Zn. Dále se pak sledují také sírany, chloridy a další vlastnosti jako pH nebo konduktivita.

Co se týká hlavních silnic, ty bývají udržovány chemickou cestou, zatímco komunální silnice jsou ošetřovány posypem. Tyto silnice jsou pak na konci zimy čištěny, kvalita čištění ale není stálá a na mnoha místech se liší.

V rámci statutárního města Ostravy se pravidelně zajišťuje čištění komunikace samosběrem, kropícím vozem a také strojním sečením travních porostů. Toto se děje na silnicích I. II ale také III. tříd. (viz Obrázek 11)





**Obrázek 18 Rozdělení silnic na I.,II a III.tříd v městě Ostrava**

Zdroj: Ostrava čistí silnice nejčastěji v republice -ZdraváOVA. *ZdraváOVA - Ekologický web Ostravy*ZdraváOVA [online]. Dostupné z: <https://zdravaova.cz/ostrava-cisti-silnice-nejcastej-v-republice/>

Jak již bylo zmíněno, pokud se podíváme na Ostravu, zde jsou vytížené komunikace čištěny 6x do měsíce, navíc je 3x použito také mokré čištění. Středně frekventované silnice jsou čištěny 4x do měsíce a 2x je použito mokré čištění. U nejméně frekventovaných silnic probíhá čištění dvakrát do měsíce a jednou probíhá také mokré čištění. V Ostravě bylo sesbíráno 4 500 t silničního prachu, což odpovídá 14,5 kilogramů na jednu osobu za rok. V Olomouci se získalo 1 688 tun silničního prachu, což odpovídá 18,85 kilogramů na jednu osobu za rok.

Ačkoli se v České republice klade nemalý důraz na likvidaci odpadů, která by zároveň měla být šetrná k životnímu prostředí, není poměr mezi využíváním a zneškodněním odpadu nějak přívětivý.[42]

Cílem úklidem a údržby komunikace je snížení koncentrací suspendovaných částic PM10. Dosáhnout by se takto mělo snížením prašnosti, a tedy zamezením resuspendace.

I z tohoto důvodu je zapotřebí částice z vozovky odstraňovat, k tomu je zapotřebí vybrat dostatečně účinnou a také ekonomicky výhodnou technologii. Takovou technologií jsou vozy vybavené kartáči a odsáváním prachu. Účinnější pak je také využít oplachu prachu z povrchu vozovky. Klíčová je v tomto případě také pravidelnost takto prováděné údržby. To pak záleží na hustotě obydlí a také na hustotě provozu. Velké čištění by mělo být zajištěno po zimě, aby se vozovka zbavila zbytků posypů apod. Stejně tak by se velké čištění mělo provádět po skočení zemědělských prací, tedy zejména v letních měsících a na podzim. [30]

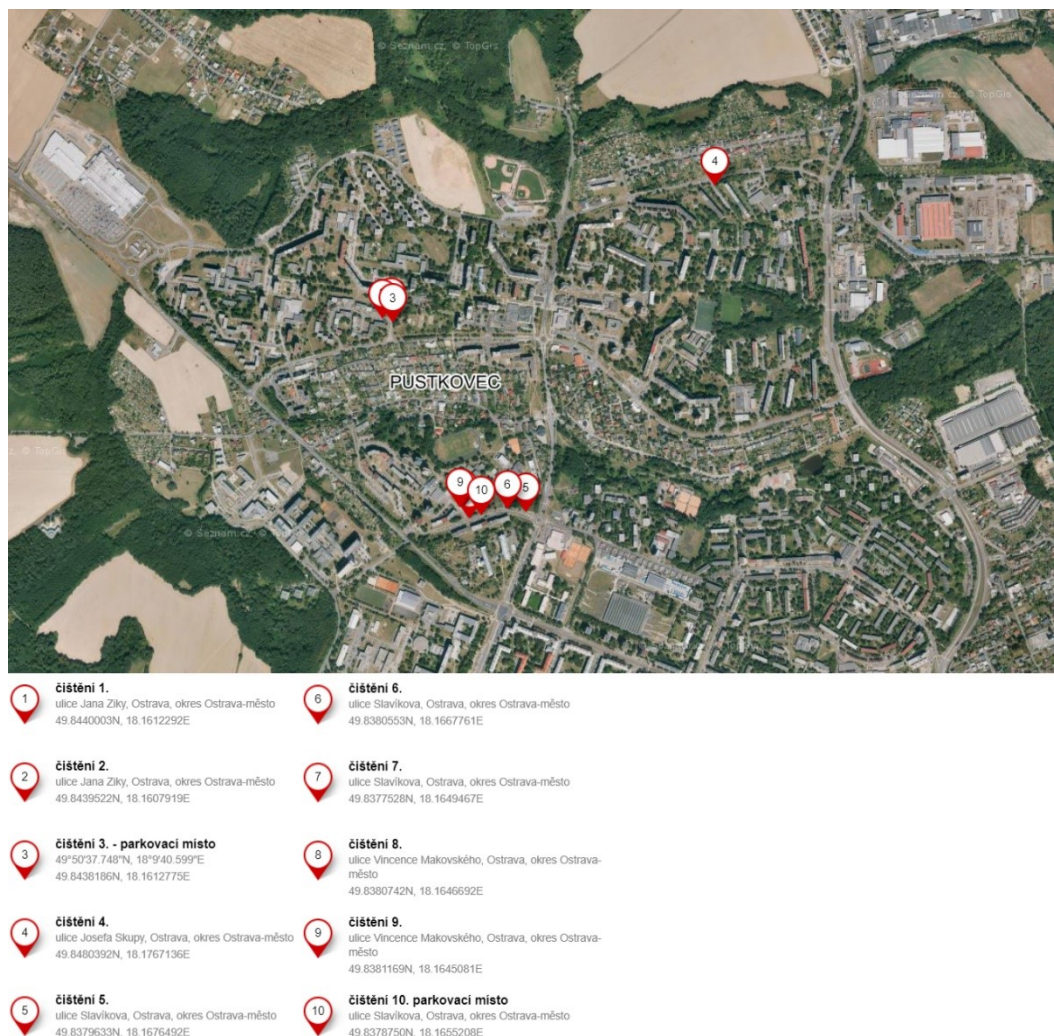
## 6.2 Účinnost čištění silnic

Tato subkapitola nabízí již konkrétní údaje z čištění silnic v městském obvodu Ostrava-Poruba z května roku 2019.

Na Obrázek 19 – Lokality čištění v Ostravě – Porubě květen 2019 jsou vyznačena místa, kde byly sebrány vzorky, na kterých byla hodnocena účinnost čištění.

Následující tabulka Tabulka 10 – Čištění silnic Poruba – květen 2019 potom ukazuje porovnání těchto deseti vzorků a účinnost jejich čištění s ohledem na zrnitostní třídy.

V této tabulce bych vyzdvihla především dvě informace, a to že zdaleka nejúčinnější je čištění pro třídu zrnitosti nad 2 mm a dále pak ve zvýrazněných polích vidíme záporné hodnoty. V těchto případech byla hmotnost čištěného vzorku vyšší než hmotnost vzorku před vyčištěním, a to znamená, že se jedná o zcela neúčinné čištění, a naopak ještě více komunikaci kontaminovalo. Účinnost pro jednotlivé třídy a celkovou účinnost je znázorněno v následujících grafech.



Obrázek 19 – Lokality čištění v Ostravě – Porubě květen 2019

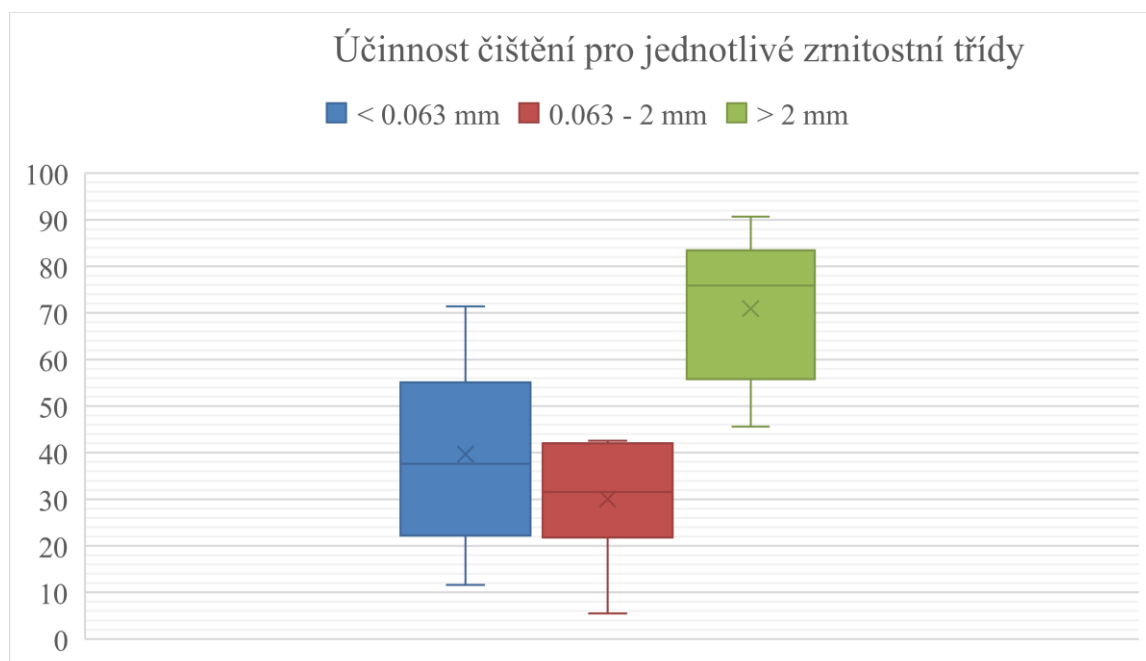
Zdroj: Mapy.cz. Mapy.cz [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?vlastni-body&x=18.1687528&y=49.8430621&z=15&dim=5ce3d0c840a013029bdcfad1>

Tabulka 10 – Čištění silnic Poruba – květen 2019

		Celkový vzorek	Celková účinnost čištění	účinnost čištění pro jednotlivé zrnitostní třídy		
				< 0.063 mm	0.063 - 2 mm	> 2 mm
		(g)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	Před čištěním	47,87	-41,2	-103,4	-32,2	-82,1
	Po čištění	67,569				
2	Před čištěním	97,305	45,7	31,3	33,8	90,6
	Po čištění	52,83				
3	Před čištěním	57,423	14,9	-5,7	-0,6	61,0

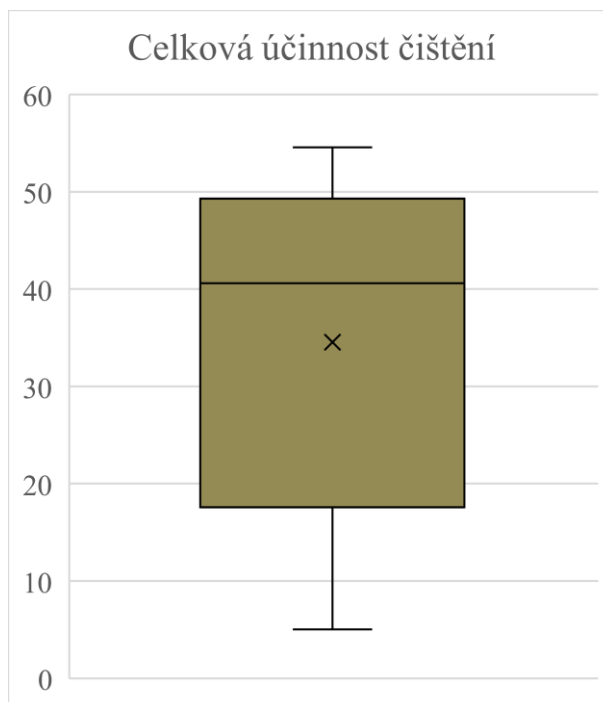
		Celkový vzorek	Celková účinnost čištění	účinnost čištění pro jednotlivé zrnitostní třídy		
				< 0.063 mm	0.063 - 2 mm	> 2 mm
		(g)	(%)	(%)	(%)	(%)
	Po čištění	48,879				
4	Před čištěním	114,776	40,6	29,1	29,3	86,0
	Po čištění	68,16				
5	Před čištěním	57,244	47,5	55,2	41,9	69,9
	Po čištění	30,041				
6	Před čištěním	130,903	31,2	54,8	5,5	50,6
	Po čištění	90,029				
7	Před čištěním	108,828	54,6	71,4	42,6	75,9
	Po čištění	49,438				
8	Před čištěním	55,468	20,2	19,9	-5,4	80,9
	Po čištění	44,238				
9	Před čištěním	84,955	51,1	43,9	27,2	78,0
	Po čištění	41,544				
10	Před čištěním	104,361	5,0	11,6	-6,8	45,6
	Po čištění	99,105				

Graf 4 – Účinnost čištění pro jednotlivé zrnitostní třídy



Graf 4 ukazuje účinnost čištění pro jednotlivé zrnitostní třídy a dokazuje již zmíněný fakt, že neúčinnější se jeví čištění pro zrnitost vyšší, jak 2 mm.

Graf 5 – Celková účinnost čištění



Graf 5 ukazuje celkovou účinnost čištění.

### 6.3 Boj proti prachu

Jednou možností, jak prach odstraňovat, a především tak zamezit resuspendaci prachových částic je jejich pokropení. Toto má sice dobrý efekt, ale pouze do doby, než se voda vypaří a prachová částice se opět mohou resuspendovat. Byly také testovány nejrůznější látky pro kontrolu koncentrace PM<sub>10</sub>. Jednalo se o povrchově aktivní látky případně soli, které absorbují vodu při překročení určité relativní vlhkosti vzduchu. Zde je ale potřeba si uvědomit, že sice snížíme prašnost a resuspendaci prachových částic ale také může dojít k dalšímu znečištění životního prostředí.

Použití takových látek nemusí mít za následek pouze poškození životního prostředí, ale také mohou způsobovat koroze například na mostech apod. Výhodou ale naopak je, že aplikované látky na zamezení resuspendace silničního prachu také snižují bod tuhnutí srážek, což je výhoda především v chladnějším období či chladnějších oblastech.

Aplikace těchto látek byla testována v mnoha evropských zemích, a to v místech, kde je poměrně vysoká relativní vlhkost. Větší vliv měly tyto látky na silnicích, kde je znečištění

vysoké. Při aplikaci těchto látek ale výrazně kles podíl látek PM10, které se dostávaly do ovzduší. Stejně tak se vyššího efektu dosáhlo v případě nezpevněných cest než na rovném asfaltu.

[43, 44, 45]

## 6.4 Odhad množství

Jak jsem již uvedla v kapitole 5.2 za základní ukazatel kvality prostředí se považuje množství silničního prachu vztažené na jednotku plochy, tedy na metr čtvereční. Co se týče průměrného množství silničního prachu ve všech 25 analyzovaných lokalitách, mluvíme o hodnotách  $547.04 \pm 373.39$  g během zimní sezóny, resp.  $404.28 \pm 311.57$  g během letního období.

Vůbec nejvyšší množství celkového silničního prachu bylo během zimní sezóny zjištěno na lokalitě Ostrava Vítkovice – Lokalita 12, jednalo se o hodnotu 1621.85 g, avšak v jiné části Ostravě Vítkovicích v Lokalitě 13 bylo zjištěno naopak nejnižší množství silničního prachu během zimy, a to konkrétně 144.02 g.

V letním období byla situace odlišná a byla v Lokalitě 13 naměřena naopak nejvyšší hodnota pouličního prachu, a to 1375.30 g. Nejnižší množství silničního prachu bylo zjištěno v městské části Ostrava Pustkovec – Lokalita 22, s hodnotou 125.78 g.

Mezi městské části, které mají nejnižší výskyt silničního prachu v Ostravě patří O-Jih, Poruba a Pustkovec. Naopak městská část s nejvyšším výskytem pouličního prachu je Ostrava – Vítkovice.

Při výpočtu množství prachu, které bylo v roce 2018 smeteno v Ostravě ze 700 km komunikací vyplývá, že se na  $1 \text{ m}^2$  během celého roku 2018 zachytilo 1.7 kg prachu (6,4 kg/km), vzorkováním bylo za rok průměrně odstraněno  $760 \text{ g/m}^2$ , což představuje účinnost 44.7 %. [2]

## 6.5 Technologické možnosti odloučení posypových materiálů

Uliční nebo silniční smetky jsou tedy veškeré materiály, které jsou zameteny z ulic, chodníků či parkovišť. Jedná se například o bláto, listí větvičky a jiné organické látky, ale může se jednat i o provozní kapaliny z vozidel. Je to speciální odpad a je třeba, aby s ním bylo nakládáno ve zvláštním režimu. Nejvhodnějším řešením by bylo tento materiál



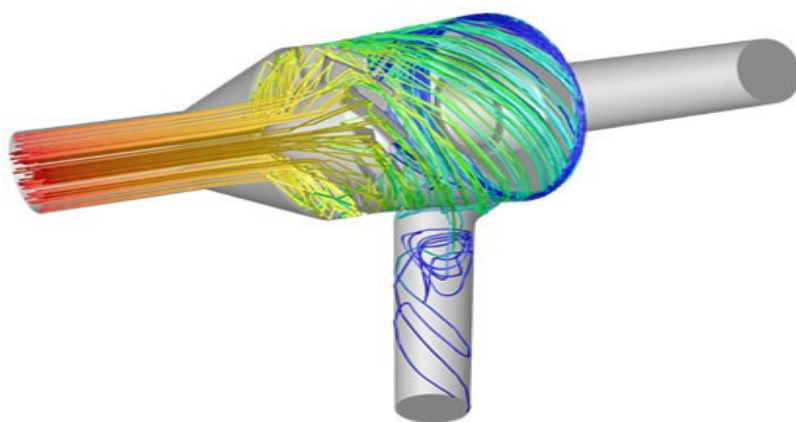
recyklovat, ovšem na základě prováděných pokusů se tento způsob využití ukázal neefektivní, a to především na základě vysokých nákladů. Další zkoumanou možností bylo těmito smetky opravovat cesty, ovšem i tento způsob se ukázal jako nevhodný kvůli svým vlastnostem podobným tekutému písku. Jako další způsob využití tohoto materiálu byl vyzkoušeno umístění posypového materiálu jako podklad pod zámkovou dlažbu ovšem déšť posypový materiál vymyl a zámková dlažba se propadávala.

Moderní doba však přináší nové technologie, ty jsou schopné třídit částice dané velikosti pomocí odlučovačů. Nejčastěji se využívají separátory hořících částic jako ochrana průmyslových filtrů nebo jako první odlučovací stupeň. Jako nejstarší odlučovače byly a stále ještě jsou využívány suché mechanické odlučovače, které jsou založeny na principu využití gravitačního, setrvačného, odstředivého, odlučovacího principu. Ačkoli jsou tyto odlučovače konstrukčně jednoduché, jsou skutečně spolehlivé, nenáročné na obsluhu a údržbu a mají nízkou pořizovací cenu a veškeré další provozní náklady, je také možné je použít i pro vysoké teploty. Ovšem jejich nevýhodou je nízká odlučivost pro jemné frakce.

Další možností je setrvačný odlučovač, který funguje na principu odloučení větších částí v důsledku změny směru proudu plynu při průtoku plynu hodně profilovanými překážkami.

Lamelové odlučovače se zase používají zejména k odloučení kapek buď za mokrémi odlučovači nebo závodními pračkami vzduchotechnických systémů.

[46, 47, 48]



Obrázek 20 - Suchý mechanický odlučovač

Zdroj: Suché mechanické odlučovače - DEPURO. *DEPURO - Úvod* [online]. Copyright © 2020 [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: <https://www.depuro.cz/sucheacute-mechanickeacute-odlu269ova269e.html>

Vírové odlučovače mají jako základ vírový článek. Snižuje se hodnota meze odlučivosti při zvýšení objemového průtoku článkem, a na základě toho se celková odlučivost zvyšuje. Ovšem vírové odlučovače je možné provozovat pouze v omezeném rozsahu objemových průtoků. [49]

Další možnou technologií jsou hydrocyklony. Hydrocyklony jsou vlastně separáty písku. Tyto přístroje fungují na principu odstředivky, do filtru tangenciálně natéká voda, podél stěny filtru cirkuluje a horním otvorem potom vytéká čistá voda. Písek klesá ke dnu, kde se nachází sběrná nádoba. Je také možné rozdělit objemový průtok na paralelní průtok větším počtem článků s menším průměrem, potom mluvíme o multicyklonu. [49]



Obrázek 21 - Hydrocyklony

Zdroj: Hydrocyklony-separátory písku | Hydrofilter. *Úprava vody | Hydrofilter Brno* [online]. Copyright © 2020 [cit. 15.08.2020]. Dostupné z: <https://www.hydrofilter.cz/hydrocyklony-separatory-pisku/>

K separaci posypového materiálu lze také použít odvodňovací třídič, který odvodňuje materiál a kaly a separuje sypký materiál. Je to velké robustní a pevné zařízení. Úhel



vibračního prosévání umožňuje snížit vlhkost pevných látek na minimální hodnoty. Díky vibracím dochází k vysoké rychlosti posunu. Tato zařízení jsou vysoce spolehlivá. [50]



**Obrázek 22 – Odvodňovací třídič**

Zdroj: Odvodňovací třídiče. Redirecting to <https://www.ife-bulk.com/en/> [online].  
Dostupné z: <https://www.ife-bulk.com/cs/T%C5%99%C3%ADd%C3%ADc%C3%AD-technika/odvodnovaci-tridice.html>

## 7 DISKUZE

Veškerá témata, která se týkají silničního prachu nabývají na vážnosti a je třeba získávat nových dat a poznatků. V posledních letech se o tomto tématu sice začíná mluvit, ale intenzita ještě není dostatečná.

Na základě toho jsem se rozhodla analyzovat město Ostravu, ve kterém je mnoho zdrojů znečištění, které se kombinují a často není lehkým úkolem odhalit zdroj určité části pouličního prachu. Kromě bezprostředních zdrojů ve městě Ostrava, mezi které patří doprava a průmyslové a energetické zdroje, je nutné také hovořit o dalších faktorech, tedy vzdálenějších zdrojích znečištění, které se na vozovky dostávají vlivem klimatických podmínek.

Co se týče kovových prvků, které jsou v silničním prachu obsaženy, z poskytnutých dat jasně vyplývá, že nejzatíženější oblastí na kovové prvky jsou městské části Ostravy Radvanice a Bartovice, a to jak v letním, tak i v zimním období.

Co se týče hmotnosti silničního prachu byl nejhorší stav indikován v Lokalitě 13 a nejnižší v Lokalitě 12 v zimním období. Zajímavostí je, že obě tyto lokality jsou situovány v městské části Ostrava-Vítkovice. V letním období bylo v Lokalitě nejvíce prachu nasbíráno opět v Lokalitě 13 a nejméně v Lokalitě 22, která se nachází v městské části Ostrava-Pustkovec. V této oblasti je tedy jistě možné Lokalitu 13 označit za nejzatíženější oblast.

Údržba silnic v zimních měsících probíhá ve městě Ostrava různě s ohledem na typ komunikace. Hlavní silnice bývají udržovány chemickou cestou a komunální komunikace potom posypem. Čištění silnic probíhá v různých intervalech a vysoce převyšuje intervaly, které jsou stanoveny zákonem, avšak v práci byla také hodnocena účinnost čištění. Je jasné, že jej nesmí být opomenuto, ale mělo by být využito takových prostředků, které k prašnosti nebudou naopak přispívat. V Ostravě je bohužel využíván smeták, který naopak přispívá ke zviření částic. K čištění by vždy měla být vybrána vhodná metoda, což znamená vhodný a kvalitní čistič, který bude skutečně účinný v daném prostředí (městském části). Výběr by měl probíhat na základě zrnitostních frakcí ve vzorcích z daného místa.

## 8 ZÁVĚR

Cílem celé práce bylo prostudovat silniční prach na území města Ostravy. Analyzovat jeho chemické složení a zdroje, které se na jeho složení podílejí. Tento cíl se podařilo naplnit především v kapitole 2 PRACHOVÉ ČÁSTICE a v kapitole 3 CHARAKTERISTIKA OBLASTI. Tyto kapitoly nám přinesly náhled na to, jak se určité látky dostanou do silničního prachu.

Ve své práci jsem se zaměřila především na výskyt kovů v silničním prachu, které se dostávají do prostředí z různých zdrojů. Co se týče zmíněných kovů, silniční prach je obsahuje především v důsledku dopravy, průmyslových a energetických zdrojů a lokálních topenišť, ale samozřejmě také z okolní půdy. Co se týče dopravy, nebezpečné látky se do silničního prachu dostávají výfukovými plyny vznikajícími při spalování pohonných hmot, dále dochází vlivem dopravy k opotřebení povrchu vozovky, pneumatik a brzdových destiček, které též přináší významné množství nebezpečných látek do silničního prachu.

Dále bylo cílem práce prozkoumat a popsat poskytnutá data, a na jejich základě určit nejzatíženější lokalitu. Tyto cíle byly naplněny v druhé polovině práce. Kapitoly specifikují možnou metodiku odběru vzorků a metody pro identifikaci zdrojů znečištění. Popisují a přibližují čtenáři data o vzorcích získaných v různých lokalitách města Ostrava. Jako velmi zatížené území silničními smetky se ukázala Ostrava Vítkovice. Zatíženou oblastí na výskyt těžkých kovů se ukazuje Ostrava-Radvanice a Bartovice, některé zdroje uvedli též Mariánské Hory.

Dále bylo cílem popsat údržbu silnic a následné nakládání se silničními smetky, také popis zimní údržby, respektive jak posypové materiály ovlivňují složení silničního prachu a jak se dají tyto materiály odloučit.

Práce odhalila, že ne vždy je dosahováno efektivního čištění, a že je zapotřebí zvolit správnou metodu na základě zrnitostní frakce v dané lokalitě.

Během práce mne téma velmi zaujalo a ve svém navazujícím studiu bych se jím i dále ráda zabývala. Zajímal by mne například stav v jiných oblastech naší republiky nebo srovnání různých průmyslových měst na území Evropy.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAN, Xiufeng a Xinwei LU. Spatial distribution, environmental risk and source of heavy metals in street dust from an industrial city in semi-arid area of China. *Archives of Environmental Protection*. 2017, **43**(2), 10-19. DOI: <https://doi.org/10.1515/aep-2017-0013>. ISSN 2083-4772.
- [2] ŠVÉDOVÁ, Barbora, Dalibor MATÝSEK, Helena RACLAVSKÁ, Marek KUCBEL, Pavel KANTOR, Michal ŠAFÁŘ a Konstantin RACLAVSKÝ. *Variation of the chemical composition of street dust in a highly industrialized city in the interval of ten years*. 2020. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110506. ISSN 1095-8630.
- [3] Particulate Matter (PM) Basics | Particulate Matter (PM) Pollution | US EPA. *United States Environmental Protection Agency | US EPA* [online]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- [4] [AMATO, F., M. PANDOLFI, A. ALASTUEY, A. LOZANO, J. CONTRERAS GONZÁLEZ a X. QUEROL. Impact of traffic intensity and pavement aggregate size on road dust particles loading. *Atmospheric Environment* [online]. 2013, 77, 711-717 [cit. 2020-08-05]. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.05.020. ISSN 13522310. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231013003634>]
- [5] *Společnost pro techniku prostředí* - [online]. Dostupné z: [https://www.stpcr.cz/?download=articles/vvi-2006-02\\_s90.pdf](https://www.stpcr.cz/?download=articles/vvi-2006-02_s90.pdf)
- [6] *Air Quality Criteria for Particulate Matter* [online]. In: . Environmental Protection Agency, 2004 [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?Lab=NCEA&dirEntryId=87903](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NCEA&dirEntryId=87903)
- [7] ADAMIEC, Ewa, Elżbieta JAROSZ-KRZEMIŃSKA, Robert WIESZAŁA, et al. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environmental monitoring and Assessment*. 2016, 188(6), 163-170. DOI: 10.1007/s10661-016-5377-1. ISSN 0167-6369. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10661-016-5377-1>
- [8] GUNAWARDANA, Chandima, Ashantha GOONETILLEKE, Prasanna EGODAWATTA, et al. Source characterisation of road dust based on chemical and

- mineralogical composition. *Chemosphere*. 2012, 87(2), 163-170. DOI:10.1016/j.chemosphere.2011.12.012. ISSN 00456535. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653511013804>
- [9] *METODIKA PRO VÝPOČET EMISÍ ČÁSTIC POCHÁZEJÍCÍCH Z RESUSPENZE ZE SILNIČNÍ DOPRAVY* [online]. In: CENEST, Prosinec 2015 [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/autorizace/\\$FILE/000-3resuspenze\\_metodika-20190708.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/autorizace/$FILE/000-3resuspenze_metodika-20190708.pdf)
- [10] Doprava, zdraví a životní prostředí: ... česko-slovenská konference .. Brno: Centrum dopravního výzkumu, [2006?]-. Librix.eu. ISBN isbn978-80-86502-54-0.
- [11] ČR - Imise těžkých kovů obsažených v prašném aerosolu. Portál ČHMÚ : Home [online]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr98cz/kap\\_0236/kap\\_0236.htm](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr98cz/kap_0236/kap_0236.htm)
- [12] GREEN, David, Anja TREMPER a Gary FULLER. *Chemical Speciation of PM10 at Swiss Cottage* [online]. In: . Environmental Research Group King's College London [cit. 2020-08-19]. Dostupné z: <https://www.londonair.org.uk/London/reports/SwissCottagePM10%20ChemicalSpeciationReport.pdf>
- [13] Air Silesia [online]. Dostupné z: [http://www.air-silesia.eu/files/file/air\\_silesia/raport/vsb\\_atlas\\_ov\\_ovzdusi\\_.pdf](http://www.air-silesia.eu/files/file/air_silesia/raport/vsb_atlas_ov_ovzdusi_.pdf)
- [14] Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Bound to PM 2.5 in Urban Coimbatore, India with Emphasis on Source Apportionment. *National Center for Biotechnology Information* [online]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3350969/>
- [15] Sources, Distribution and Toxicity of Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) in Particulate Matter | IntechOpen. *IntechOpen - Open Science Open Minds | IntechOpen* [online]. Copyright © 2010 The Author [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/air-pollution/sources-distribution-and-toxicity-of-polyaromatic-hydrocarbons-pahs-in-particulate-matter>

- [16] Charakteristika okresu Ostrava-město | ČSÚ v Ostravě. *Český statistický úřad* | ČSÚ [online]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/xt/charakteristika\\_okresu\\_ostrava\\_mesto](https://www.czso.cz/csu/xt/charakteristika_okresu_ostrava_mesto)
- [17] *Moravské-Karpaty.cz* [online]. Dostupné z: [http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geologie/predflysovy-vyvoj/#hornoslezska\\_panev](http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geologie/predflysovy-vyvoj/#hornoslezska_panev)
- [18] Emise. In: *OSTRAVA* [online]. [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://www.ostrava.cz/cs/o-meste/zivotni-prostredi/ovzdusi/stav-kvality-ovzdusi/emise>
- [19] Situační zpráva o kvalitě ovzduší na území Moravskoslezského kraje za kalendářní rok 2012. In: *OSTRAVA* [online]. [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://www.msk.cz/assets/ovzdusi/Koncepce/kvalita-ovzdusi-a-emisni-situace-v-moravskoslezskem-kraji-.pdf>
- [20] *Liberty Ostrava: Emisní bilance České republiky* [online]. [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://libertyostrava.cz/o-spolecnosti/o-spolecnosti.aspx>
- [21] Veolia v České republice | Veolia Czech Republic. *Redirecting to https://www.veolia.cz/cs* [online]. Copyright © 2020 Veolia [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: <https://www.veolia.cz/cs/veolia-v-ceske-republice>
- [22] Investice do ekologie | OKK. [online]. Dostupné z: <http://www.koksovny.cz/cz/investice-do-ekologie>
- [23] Současnost | Vítkovice Steel. *Vítkovice Steel* [online]. Copyright © 2007 [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: <http://www.vitkovicesteel.com/stranky/soucasnost>
- [24] *VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.* [online]. Copyright ©f [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: [https://vhm.company/media/cache/file/07/VHM\\_Profil-spolecnosti\\_2019.pdf](https://vhm.company/media/cache/file/07/VHM_Profil-spolecnosti_2019.pdf)
- [25] Energocentrum Vítkovice | Skupina ČEZ - O Společnosti. *Skupina ČEZ* [online]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/uhelne-elektrany-a-teplarny/uhelne-elektrany-a-teplarny-cez-v-cr/energocentrum-vitkovice-58174>

- [26] BorsodChem - OSTRAVA - Profile. *BorsodChem - OSTRAVA - Home* [online]. Dostupné z: <http://www.borsodchem-cz.com/About-us/Profile.aspx>
- [27] *Moravskoslezský kraj* [online]. Copyright ©pUD [cit. 15.08.2020]. Dostupné z: [https://www.msk.cz/assets/publikace/brozura\\_politika\\_zp\\_msk.pdf](https://www.msk.cz/assets/publikace/brozura_politika_zp_msk.pdf)
- [28] *ZdraváOVA - Ekologický web OstravyZdraváOVA* [online]. Copyright © [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: <https://zdravaova.cz/wp-content/uploads/2017/10/mala-analyza-kvality-ovzdusi-na-uzemi-mesta-a-legislativa-v-ochrane-ovzdusi.pdf>
- [29] *ZdraváOVA - Ekologický web OmzpstravyZdraváOVA* [online]. Copyright © [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: <https://zdravaova.cz/wp-content/uploads/2017/10/Stanoven-podlu-produkce-emis-z-automobilov-Manazer.pdf>
- [30] *Studie efektivity zavedení opatření v době smogové situace v oblasti dopravy na území statutárního města Ostravy* [online]. 2019 [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://zdravaova.cz/wp-content/uploads/2019/10/Studie-efektivity-zaveden%C3%AD-opat%C5%99en%C3%AD-v-dob%C4%9B-smogov%C3%A9-situace-v-oblasti-dopravy-na-%C3%BAzem%C3%AD-statut%C3%A1rn%C3%ADho-m%C4%9Bsta-Ostravy.pdf>
- [31] WEISSMANNOVÁ, Hana. *Ostravsko*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2004. Chráněná území ČR. ISBN isbn80-86064-67-0.
- [32] Aktualizace programů zlepšování kvality ovzduší 2020+ - Ministerstvo životního prostředí. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Copyright © 2008 [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/aktualizace\\_programu\\_zlepsovani\\_kvality\\_ovzdusi\\_2020](https://www.mzp.cz/cz/aktualizace_programu_zlepsovani_kvality_ovzdusi_2020)
- [33] *Chráněná území ČR - Ostravsko* [online]. [cit. 2020-08-13]. Dostupné z: <http://www.ochranaprirody.cz/res/archive/283/035117.pdf?seek=1239194108>
- [34] ANDREOVSKÝ, Jan, HENELOVÁ, Vladimíra, ed. *Příručka ochrany kvality ovzduší*. Praha: Sdružení společností IREAS centrum, 2013. ISBN isbn:978-80-86832-77-7.

- [35] Ostrava a vývoj klimatu - ZdraváOVAZdraváOVA. *ZdraváOVA - Ekologický web* OstravyZdraváOVA [online]. Dostupné z: <https://zdravaova.cz/category/klimaticke-zmeny/podkategorie-klimaticke-zmeny/ostrava-a-vyvoj-klimatu/>
- [36] Grafická ročenka. *Portál ČHMÚ : Home* [online]. Copyright © Copyright Český hydrometeorologický ústav [cit. 19.08.2020]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/16groc/gr16cz/V3\\_OKF\\_M\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/16groc/gr16cz/V3_OKF_M_CZ.html)
- [37] Human Impacts. *Apache Tomcat/7.0.76 - Error report* [online]. Dostupné z: <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/article.php?id=1>
- [38] KARANASIOU, Angeliki, Fulvio AMATO, Teresa MORENO, et al. Road Dust Emission Sources and Assessment of Street Washing Effect. *Aerosol and Air Quality Research*. 2014, 14(3), 734-743. DOI: 10.4209/aaqr.2013.03.0074. ISSN 16808584. Dostupné také z: <https://aaqr.org/articles/aaqr-13-03-0a-0074>
- [39] CIAZELA, Jakub a Marcin SIEPAK. Environmental factors affecting soil metals near outlet roads in Poznań, Poland: impact of grain size, soil depth, and wind dispersal. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 2016, 188(6) [cit. 2020-07-20]. DOI: 10.1007/s10661-016-5284-5. ISSN 0167- 6369. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10661-016-5284-5>
- [40] *Ostrava usiluje o dotaci na nadlimitní čištění cest* [online]. 27.2.2020 [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/ostrava-usiluje-o-dotaci-na-nadlimitni-cistení-cest>
- [41] Road dust and its effect on human health: a literature review. [online]. Copyright © 2020 by Korean Society of Epidemiology. All rights reserved. [cit. 15.08.2020]. Dostupné z: [https://www.e-epih.org/journal/view.php?number=966&fbclid=IwAR0TxSdLIXWrmiejuW4pVdPInl1Z1WxvaGdgGWVIGOuSB5v\\_6HZTvh73-Cw](https://www.e-epih.org/journal/view.php?number=966&fbclid=IwAR0TxSdLIXWrmiejuW4pVdPInl1Z1WxvaGdgGWVIGOuSB5v_6HZTvh73-Cw)
- [42] Atlas životního prostředí v Ostravě - PDF Free Download. *Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací*. [online].



- Copyright © DocPlayer.cz [cit. 15.08.2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/20588154-Atlas-zivotniho-prostredi-v-ostrave.html>
- [43] QUEROL, Xavier at al. The efficacy of dust suppressants to control road dust re-suspension in Northern and Central Europe. In: *AIRUSE: Testing and development of air quality mitigation measures in Southern Europe*. 12/2016.
- [44] AMATO, F., X. QUEROL, C. JOHANSSON, C. NAGL a A. ALASTUEY. A review on the effectiveness of street sweeping, washing and dust suppressants as urban PM control methods. *Science of The Total Environment*. July 2010, (Volume 408), 3070-3084.
- [45] Ostrava čistí silnice nejčastěji v republice -ZdraváOVA. *ZdraváOVA - Ekologický web OstravyZdraváOVA* [online]. Dostupné z: <https://zdravaova.cz/ostrava-cisti-silnice-nejcasteji-v-republice/>
- [46] Víte, že použitý posypový materiál končí také na skládce? - Marius Pedersen a.s.. *Marius Pedersen a.s.* [online]. Copyright © Marius Pedersen a.s. [cit. 22.08.2020]. Dostupné z: <https://www.mariuspedersen.cz/cs/vite-ze/15.shtml>
- [47] Suché mechanické odlučovače - DEPURO. *DEPURO - Úvod* [online]. Copyright © 2020 [cit. 22.08.2020]. Dostupné z: <https://www.depuro.cz/suchearcute-mechanickeacute-odlu269ova269e.html>
- [48] MAČALA, Jozef a Vladimír SMRŽ. *Modul 5: Ochrana ovzduší: Výukový program: Environmentální vzdělávání* [online]. [cit. 2020-08-22]. Dostupné z: <https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/546/.content/galerie-souboru/Studijni-materialy/EV-modul5.pdf>
- [49] Hydrocyklony-separátory písku | Hydrofilter. *Úprava vody | Hydrofilter Brno* [online]. Copyright © 2020 [cit. 22.08.2020]. Dostupné z: <https://www.hydrofilter.cz/hydrocyklony-separatory-pisku/>
- [50] Odvodňovací třídiče. *Redirecting to https://www.ife-bulk.com/en/* [online]. Dostupné z: <https://www.ife-bulk.com/cs/T%C5%99%C3%ADd%C3%ADc%C3%AD-technika/odvodnovaci-tridice.html>
- [51] Kupiainen, K., Ritola R., Stojiljkovic, A., Pirjola, L., Malinen, A., Niemi, J., 2016. Contribution of mineral dust sources to street side ambient and suspension PM<sub>10</sub> samples. *Atmos. Environ.* 147, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.059>.

- [52] Lanzerstorfer, Ch., Kröppl, M., 2014. Air classification of blast furnace dust collected in a fabric filter for recycling to the sinter process. *Resour. Conserv. Recy.* 86, 132-137. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.02.010>.
- [53] *Chemické rozmrazovací a posypové materiály, nakládání s biologickým odpadem ze silničních pozemků: Technické podmínky TP 116*. In: . Ministerstvo dopravy ČR, 2015. Dostupné také z: [pjkp.cz](http://pjkp.cz)
- [54] *Posypové materiály pro zimní údržbu komunikací v ČR a v zemích EU* [online]. 2001 [cit. 2020-08-23]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/posypove-materialy-pro-zimni-udrzbu-komunikaci-v-cr-a-v-zemich-eu>
- [55] *Přezkoušení dávkování sypačů chemických materiálů s automatikou dávkování: Technické podmínky TP 127*. In: . Ministerstvo dopravy ČR, 2015. Dostupné také z: [pjkp.cz](http://pjkp.cz)
- [56] Fe, Pb, Mn. Chemická tabulka? Ne, ostravské plíce. *IDNES.cz* [online]. 30. září 2012 [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/ostava/zpravy/unikatni-studie-ovzdusi-v-ostave.A120926\\_171814\\_ostava-zpravy\\_jog](https://www.idnes.cz/ostava/zpravy/unikatni-studie-ovzdusi-v-ostave.A120926_171814_ostava-zpravy_jog)
- [57] De Vos, E. et. al., (2006). *Geochemical Atlas of Europe Part 2: Interpretation of Geochemical Maps Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications Online*. Geological Survey of Finland. ISBN 951-690-960-4
- [58] Sýkorová, B., Raclavská, H., Matýsek, D., Kucbel, M. Raclavský, K. and Růžicková, J., (2017). Identification of pollution source in the urban atmosphere. *Inzynieria Mineralna*. vol 1.p. 147-152.
- [59] Yildirim, G., and Tokalioglu, S. (2016). Heavy metal speciation in various grainsizes of industrially contaminated street dust using multivariate statistical Analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. vol 124, p. 269-376.

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

PM – prachové částice

ŽP – životní prostředí

TZL – Tuhé znečišťující látky

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozdělení města Ostravy

Obrázek 2 Dopravní síť Ostravska

Obrázek 3 Větrná růžice znázorňující převládající větry na území Ostravy

Obrázek 4 - Výskyt Cr

Obrázek 5 - Výskyt Mn

Obrázek 6 - Výskyt Ni

Obrázek 7 - Výskyt Cu

Obrázek 8 - Výskyt Zr

Obrázek 9 - Výskyt Pb

Obrázek 10 – X-Ray fluorescence spectrometer

Obrázek 10 - Seznam lokalit

Obrázek 11 - Lokalita 12 (léto, magnetické částice)      Obrázek 12 - Lokalita 9 (léto, magnetické částice)

Obrázek 13 - Lokalita 1 (zima, magnetické částice)      Obrázek 14 - Lokalita 6 (léto)

Obrázek 15 - Lokalita 12 (léto)      Obrázek 16 - Lokalita 6 (zima)

Obrázek 17 Rozdělení silnic na I.,II a III.třídu v městě Ostrava

Obrázek 18 – Čištění Ostrava – Poruba květen 2019

Obrázek 18 - Suchý mechanický odlučovač

Obrázek 19 - Hydrocyklony

Obrázek 20 – Odvodňovací třídič

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 - Měřicí stanice na území města Ostravy

Tabulka 2 - Imisní limity částic PM podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb.

Tabulka 3 - Podíl sektorů REZZO na znečištění TZL za rok 2017 v MSK

Tabulka 4 - Metody sběru různými autory

Tabulka 5 – Složení vodorozpustného podílu v zimě 2018 – 1.část

Tabulka 6 - Složení vodorozpustného podílu v zimě 2018 – 2.část

Tabulka 7 - Složení vodorozpustného podílu v létě 2018 - 1. část

Tabulka 8 - Složení vodorozpustného podílu v létě 2018 – 2.část

Tabulka 9 – Ztráty organické hmoty v zimě 2018 a v létě 2018

Tabulka 10 – Čištění silnic Poruba – květen 2019

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 – Seznam lokalit

Příloha 2 - Tabulka street dust v 25 lokalitách v zimním období 2018

Příloha 3 - Tabulka street dust v 25 lokalitách v letním období 2018

Příloha 4 – Koncentrace kovů ve vzorcích léto 2018

Příloha 5 – Koncentrace kovů ve vzorcích zima 2018

Příloha 6 – Index nabohacení pro vybrané prvky v létě 2018

Příloha 7 - Index nabohacení pro vybrané prvky v zimě 2018

## PŘÍLOHY

### Příloha 1 – Seznam lokalit

Označení lokality	Název městské části
Lokalita 1	Ostrava Michálkovice
Lokalita 2	Ostrava Radvanice a Bartovice
Lokalita 3	Ostrava Radvanice a Bartovice
Lokalita 4	Moravská Ostrava a Přívoz
Lokalita 5	Moravská Ostrava a Přívoz
Lokalita 6	Slezská Ostrava
Lokalita 7	Slezská Ostrava
Lokalita 8	Slezská Ostrava
Lokalita 9	Ostrava Mariánské Hory a Hulváky
Lokalita 10	Ostrava Mariánské Hory a Hulváky
Lokalita 11	Ostrava Vítkovice
Lokalita 12	Ostrava Vítkovice
Lokalita 13	Ostrava Vítkovice
Lokalita 14	Ostrava Jih
Lokalita 15	Ostrava Jih
Lokalita 16	Ostrava Nová Bělá
Lokalita 17	Ostrava Stará Bělá
Lokalita 18	Ostrava Hrabová
Lokalita 19	Ostrava Svinov
Lokalita 20	Ostrava Poruba - Vřesinská
Lokalita 21	Ostrava Poruba
Lokalita 22	Ostrava Pustkovec
Lokalita 23	Ostrava Martinov
Lokalita 24	Ostrava Polanka nad Odrou
Lokalita 25	Ostrava Hošťalkovice

Příloha 2 - Tabulka hmotnosti silničního prachu v 25 lokalitách v zimním období 2018

	<b>Zima 2018 (hmotnost v g)</b>				
<b>Označení vzorku</b>	<b>Lokalita</b>	<b>&gt; 2 mm</b>	<b>2 - 0.063 mm</b>	<b>&lt; 0.063 mm</b>	<b>Suma</b>
<b>Lokalita 1</b>	Ostrava Michálkovice	91,22	408,00	89,93	589,15
<b>Lokalita 2</b>	Ostrava Radvanice a Bartovice	94,46	192,00	52,14	338,60
<b>Lokalita 3</b>	Ostrava Radvanice a Bartovice	14,89	171,61	122,51	309,00
<b>Lokalita 4</b>	Moravská Ostrava a Přívoz	75,98	384,00	173,69	633,67
<b>Lokalita 5</b>	Moravská Ostrava a Přívoz	240,00	466,00	109,87	815,87
<b>Lokalita 6</b>	Slezská Ostrava	264,05	729,00	120,40	1113,44
<b>Lokalita 7</b>	Slezská Ostrava	22,85	142,48	34,61	199,95
<b>Lokalita 8</b>	Slezská Ostrava	198,00	543,00	96,85	837,85
<b>Lokalita 9</b>	Ostrava Mariánské Hory a Hulváky	95,00	778,00	100,00	973,00
<b>Lokalita 10</b>	Ostrava Mariánské Hory a Hulváky	407,00	486,00	74,93	967,93
<b>Lokalita 11</b>	Ostrava Vítkovice	68,77	266,36	36,22	371,35
<b>Lokalita 12</b>	Ostrava Vítkovice	352,00	1174,00	95,85	1621,85
<b>Lokalita 13</b>	Ostrava Vítkovice	7,19	100,40	36,42	144,02
<b>Lokalita 14</b>	Ostrava Jih	17,73	99,01	30,41	147,14
<b>Lokalita 15</b>	Ostrava Jih	58,12	86,85	29,39	174,36
<b>Lokalita 16</b>	Ostrava Nová Bělá	149,00	414,00	64,88	627,88
<b>Lokalita 17</b>	Ostrava Stará Bělá	219,53	152,00	30,11	401,64
<b>Lokalita 18</b>	Ostrava Hrabová	13,47	97,00	72,20	182,67
<b>Lokalita 19</b>	Ostrava Svinov	25,42	181,47	56,34	263,23
<b>Lokalita 20</b>	Ostrava Poruba - vřesinská	71,58	543,00	85,24	699,81
<b>Lokalita 21</b>	Ostrava Poruba	46,52	120,73	32,67	199,92
<b>Lokalita 22</b>	Ostrava Pustkovec	96,67	283,00	36,95	416,62
<b>Lokalita 23</b>	Ostrava Martinov	87,58	237,00	56,20	380,78
<b>Lokalita 24</b>	Ostrava Polanka nad Odrou	21,54	238,00	66,71	326,24
<b>Lokalita 25</b>	Ostrava Hošťalkovice	431	437	71,98	939,98
	<b>Průměr</b>	<b>126,78</b>	<b>349,20</b>	<b>71,06</b>	<b>547,04</b>
	<b>směr. odchylka</b>	<b>125,37</b>	<b>261,71</b>	<b>36,58</b>	<b>373,39</b>



	<b>Zima 2018 (hmotnost v g)</b>				
<b>Označení vzorku</b>	<b>Lokalita</b>	<b>&gt; 2 mm</b>	<b>2 - 0.063 mm</b>	<b>&lt; 0.063 mm</b>	<b>Suma</b>
	<i>medián</i>	87,58	266,36	66,71	401,64
	<i>MAX</i>	431,00	1174,00	173,69	1621,85
	<i>MIN</i>	7,19	86,85	29,39	144,02

Příloha 3 – Tabulka hmotnosti silničního prachu v 25 lokalitách v letním období 2018

	Léto 2018 (hmotnost v g)				
Označení vzorku	Lokalita	> 2 mm	2 - 0.063 mm	< 0.063 mm	Suma
Lokalita 1	Ostrava Michálkovice	3,68	226,47	76,26	306,41
Lokalita 2	Ostrava Radvanice a Bartovice	11,46	105,99	41,91	159,36
Lokalita 3	Ostrava Radvanice a Bartovice	25,68	95,93	30,57	152,18
Lokalita 4	Moravská Ostrava a Přívoz	14,83	157,32	38,50	210,64
Lokalita 5	Moravská Ostrava a Přívoz	96,99	369,02	60,29	526,30
Lokalita 6	Slezská Ostrava	170,66	478,00	103,17	751,83
Lokalita 7	Slezská Ostrava	21,03	227,27	96,65	344,95
Lokalita 8	Slezská Ostrava	11,94	260,45	106,28	378,67
Lokalita 9	Ostrava Mariánské Hory a Hulváky	6,61	284,30	28,86	319,77
Lokalita 10	Ostrava Mariánské Hory a Hulváky	17,23	160,33	58,27	235,82
Lokalita 11	Ostrava Vítkovice	13,14	763,00	46,80	822,94
Lokalita 12	Ostrava Vítkovice	224,47	827,00	49,86	1101,33
Lokalita 13	Ostrava Vítkovice	524,00	764,00	87,30	1375,30
Lokalita 14	Ostrava Jih	6,49	180,39	37,58	224,46
Lokalita 15	Ostrava Jih	34,36	187,28	62,75	284,39
Lokalita 16	Ostrava Nová Bělá	24,41	123,78	31,93	180,12
Lokalita 17	Ostrava Stará Bělá	10,18	53,85	68,23	132,26
Lokalita 18	Ostrava Hrabová	48,22	286,54	76,03	410,79
Lokalita 19	Ostrava Svinov	26,42	293,77	87,97	408,15
Lokalita 20	Ostrava Poruba	22,64	136,89	30,62	190,15
Lokalita 21	Ostrava Poruba	19,49	177,85	58,97	256,31
Lokalita 22	Ostrava Pustkovec	6,38	85,80	33,61	125,78
Lokalita 23	Ostrava Martinov	82,67	270,59	40,83	394,10
Lokalita 24	Ostrava Polanka nad Odrou	26,02	168,31	35,14	229,47
Lokalita 25	Ostrava Hošťalkovice	28,60	486,00	71,04	585,64
	<b>Průměr</b>	<b>59,10</b>	<b>286,80</b>	<b>58,38</b>	<b>404,28</b>
	<b>směr. odchylka</b>	<b>110,40</b>	<b>217,01</b>	<b>24,38</b>	<b>311,57</b>
	<b>medián</b>	<b>22,64</b>	<b>226,47</b>	<b>58,27</b>	<b>306,41</b>
	<b>MAX</b>	<b>524,00</b>	<b>827,00</b>	<b>106,28</b>	<b>1375,30</b>

	Léto 2018 (hmotnost v g)				
Označení vzorku	Lokalita	> 2 mm	2 - 0.063 mm	< 0.063 mm	Suma
	<i>MIN</i>	3,68	53,85	28,86	125,78

Příloha 4 – Koncentrace kovů ve vzorcích - léto 2018

$\chi$  -LF<sup>1</sup>

hodnoty v mg/kg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Zr	Pb	10-6 m3/k g
Lokalita 1	145	1762	32296,00	35	86	343	464	32	4,89
Lokalita 2	290	3759	231000,0 0	41	200	13280	253	893	24,47
Lokalita 3	304	3176	171074,0 0	43	126	6219	378	446	10,38
Lokalita 4	272	1872	42419,00	42	603	1086	511	68	11,13
Lokalita 5	309	1865	53898,00	48	115	619	475	74	14,86
Lokalita 6	229	1906	41716,00	35	90	271	755	47	10,63
Lokalita 7	521	3168	110542,0 0	55	206	716	906	71	4,59
Lokalita 8	105	1217	35227,00	35	71	432	478	88	9,01
Lokalita 9	548	3053	79045,00	65	424	678	765	70	72,05
Lokalita 10	295	2675	48293,00	54	120	913	432	89	7,99
Lokalita 11	170	1565	38632,00	36	104	337	479	36	9,93
Lokalita 12	524	2762	95532,00	91	1463	2270	583	1442	28,37
Lokalita 13	501	3360	84772,00	97	111	467	503	60	26,37
Lokalita 14	191	1401	46606,00	62	137	833	765	60	11,55
Lokalita 15	318	2141	48244,00	47	93	418	847	47	14,04
Lokalita 16	107	1125	31212,00	31,0	63	347	616	43	6,54
Lokalita 17	96	984	24380,00	31,0	53	440	527	42	3,68
Lokalita 18	203	1563	50548,00	45	151	813	409	66	14,37
Lokalita 19	224	1638	37653,00	43	102	509	941	47	7,83
Lokalita 20	186	1629	34679,00	44	153	664	690	52	5,61
Lokalita 21	200	1453	34712,00	37	116	667	689	49	6,77
Lokalita 22	194	1460	39535,00	42	204	978	662	44	6,25
Lokalita 23	212	2340	29467,00	32	65	238	576	47	3,49
Lokalita 24	160	1447	32709,00	43	103	401	652	57	6,27
Lokalita 25	279	2328	38381,00	55	75	226	692	76	6,92
Průměr	263,3 2	2065,96	60502,88	47,56	201,36	1366,60	601,92	161,84	13,12
směrodatná odchylka	132,3 8	774,21	48247,95	16,70	289,11	2752,19	171,05	322,69	14,01
medián	224,0 0	1865,00	41716,00	43,00	115,00	619,00	583,00	60,00	9,01
max	548,0 0	3759,00	231000,0 0	97,00	1463,0 0	13280,0 0	941,00	1442,0 0	72,05
min	96,00	984,00	24380,00	31,00	53,00	226,00	253,00	32,00	3,49

<sup>1</sup> hmotnostní magnetická susceptibilita

Příloha 5 – Koncentrace kovů ve vzorcích zima 2018

$\chi$  -LF<sup>2</sup>

hodnoty v mg/kg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Zr	Pb	10-6 m3/k g
<b>Lokalita 1</b>	207,00	1824,00	36774,00	42,00	74,00	379,00	412,00	44,00	4,72
<b>Lokalita 2</b>	339,00	3749,00	178432,0 0	62,00	273,00	20745,0 0	199,00	1124,0 0	43,97
<b>Lokalita 3</b>	277,00	3204,00	148952,0 0	80,00	182,00	9399,00	226,00	527,00	19,84
<b>Lokalita 4</b>	194,00	1766,00	41407,00	42,00	444,00	831,00	357,00	62,00	6,79
<b>Lokalita 5</b>	424,00	2385,00	70619,00	65,00	143,00	713,00	628,00	111,00	17,47
<b>Lokalita 6</b>	122,00	1471,00	29778,00	31,00	82,00	390,00	338,00	48,00	3,84
<b>Lokalita 7</b>	282,00	2237,00	56189,00	47,00	191,00	1095,00	362,00	102,00	12,55
<b>Lokalita 8</b>	102,00	1268,00	30783,00	28,00	61,00	356,00	425,00	66,00	3,91
<b>Lokalita 9</b>	216,00	1840,00	47214,00	53,00	485,00	924,00	402,00	86,00	9,84
<b>Lokalita 10</b>	478,00	5022,00	61831,00	52,00	127,00	1198,00	293,00	107,00	10,51
<b>Lokalita 11</b>	227,00	1955,00	40070,00	49,00	129,00	828,00	303,00	61,00	5,46
<b>Lokalita 12</b>	284,00	2417,00	58667,00	59,00	961,00	1776,00	312,00	943,00	12,23
<b>Lokalita 13</b>	172,00	1945,00	66985,00	42,00	419,00	711,00	319,00	65,00	16,73
<b>Lokalita 14</b>	179,00	1945,00	46777,00	58,00	167,00	1278,00	306,00	97,00	6,99
<b>Lokalita 15</b>	249,00	2276,00	37053,00	29,00	74,00	528,00	429,00	59,00	5,52
<b>Lokalita 16</b>	120,00	1350,00	36628,00	39,00	82,00	468,00	522,00	50,00	4,69
<b>Lokalita 17</b>	104,00	1204,00	22079,00	19,00	45,00	247,00	502,00	29,00	2,42
<b>Lokalita 18</b>	97,00	1169,00	30737,00	36,00	63,00	377,00	283,00	42,00	2,92
<b>Lokalita 19</b>	178,00	1530,00	35368,00	46,00	124,00	660,00	486,00	62,00	4,21
<b>Lokalita 20</b>	113,00	1566,00	32396,00	45,00	121,00	472,00	431,00	37,00	2,61
<b>Lokalita 21</b>	160,00	1277,00	34864,00	37,00	167,00	787,00	477,00	54,00	4,21
<b>Lokalita 22</b>	127,00	969,00	31120,00	35,00	213,00	887,00	265,00	53,00	3,45
<b>Lokalita 23</b>	194,00	2301,00	30966,00	42,00	55,00	299,00	390,00	41,00	2,36
<b>Lokalita 24</b>	121,00	1461,00	29952,00	37,00	70,00	570,00	543,00	68,00	3,14
<b>Lokalita 25</b>	184,00	1816,00	34228,00	45,00	67,00	232,00	370,00	82,00	2,51
<b>Průměr</b>	206,00	1997,88	50794,76	44,80	192,76	1846,00	383,20	160,80	8,52
<b>směrodatná odchylka</b>	98,68	894,13	36515,33	13,24	201,82	4319,65	104,34	280,47	8,98
<b>medián</b>	184,00	1824,00	36774,00	42,00	127,00	711,00	370,00	62,00	4,72
<b>max</b>	478,00	5022,00	178432,0 0	80,00	961,00	20745,0 0	628,00	1124,0 0	43,97
<b>min</b>	97,00	969,00	22079,00	19,00	45,00	232,00	199,00	29,00	2,36

<sup>2</sup> hmotnostní magnetická susceptibilita

**Příloha 6 – Index nabohacení pro vybrané prvky v létě 2018**

	index obohaceni Cr	index obohaceni Mn	index obohaceni Fe	index obohaceni Cu	index obohaceni Zn	index obohaceni Pb
Lokalita 1	3,32	2,35	0,82	2,85	2,89	0,76
Lokalita 2	12,19	9,19	10,76	12,17	205,51	38,83
Lokalita 3	8,55	5,20	5,33	5,13	64,42	12,98
Lokalita 4	5,66	2,27	0,98	18,17	8,32	1,46
Lokalita 5	6,92	2,43	1,34	3,73	5,10	1,71
Lokalita 6	3,23	1,56	0,65	1,84	1,41	0,68
Lokalita 7	6,12	2,16	1,44	3,50	3,09	0,86
Lokalita 8	2,34	1,57	0,87	2,29	3,54	2,03
Lokalita 9	7,62	2,47	1,22	8,54	3,47	1,01
Lokalita 10	7,26	3,83	1,32	4,28	8,27	2,27
Lokalita 11	3,77	2,02	0,95	3,34	2,75	0,83
Lokalita 12	9,56	2,93	1,93	38,65	15,24	27,21
Lokalita 13	10,59	4,13	1,99	3,40	3,64	1,31
Lokalita 14	2,66	1,13	0,72	2,76	4,26	0,86
Lokalita 15	3,99	1,56	0,67	1,69	1,93	0,61
Lokalita 16	1,85	1,13	0,60	1,58	2,21	0,77
Lokalita 17	1,94	1,15	0,55	1,55	3,27	0,88
Lokalita 18	5,28	2,36	1,46	5,69	7,78	1,78
Lokalita 19	2,53	1,08	0,47	1,67	2,12	0,55
Lokalita 20	2,87	1,46	0,59	3,41	3,77	0,83
Lokalita 21	3,09	1,30	0,59	2,59	3,79	0,78
Lokalita 22	3,12	1,36	0,70	4,75	5,78	0,73
Lokalita 23	3,91	2,51	0,60	1,74	1,62	0,90
Lokalita 24	2,61	1,37	0,59	2,43	2,41	0,96
Lokalita 25	4,29	2,08	0,65	1,67	1,28	1,21
<b>Průměr</b>	5,01	2,42	1,51	5,58	14,72	4,11
<b>směrodatná odchylka</b>	2,88	1,74	2,16	7,85	41,64	9,18
<b>medián</b>	3,91	2,08	0,82	3,34	3,54	0,90
<b>max</b>	12,19	9,19	10,76	38,65	205,51	38,83
<b>min</b>	1,85	1,08	0,47	1,55	1,28	0,55

Legenda:

EF < 2 states minimal enrichment,
EF = 2–5 moderate enrichment,
EF = 5– 20 significant enrichment,
EF = 20–40 very high enrichment
EF > 40 extremely high enrichment

**Příloha 7 - Index nabohacení pro vybrané prvky v zimě 2018**

	index obohaceni Cr	index obohaceni Mn	index obohaceni Fe	index obohaceni Cu	index obohaceni Zn	index obohaceni Pb
Lokalita 2	5,34	2,74	1,05	2,77	3,60	1,17
Lokalita 3	18,12	11,65	10,57	21,13	408,15	62,13
Lokalita 4	13,04	8,77	7,77	12,40	162,83	25,65
Lokalita 5	5,78	3,06	1,37	19,15	9,11	1,91
Lokalita 6	7,18	2,35	1,33	3,51	4,45	1,94
Lokalita 7	3,84	2,69	1,04	3,74	4,52	1,56
Lokalita 8	8,29	3,82	1,83	8,13	11,84	3,10
Lokalita 9	2,55	1,85	0,85	2,21	3,28	1,71
Lokalita 10	5,71	2,83	1,38	18,58	9,00	2,35
Lokalita 11	17,35	10,60	2,49	6,68	16,01	4,02
Lokalita 12	7,97	3,99	1,56	6,56	10,70	2,21
Lokalita 13	9,68	4,79	2,22	47,43	22,29	33,25
Lokalita 14	5,73	3,77	2,47	20,23	8,73	2,24
Lokalita 15	6,22	3,93	1,80	8,40	16,35	3,49
Lokalita 16	6,17	3,28	1,02	2,66	4,82	1,51
Lokalita 17	2,44	1,60	0,83	2,42	3,51	1,05
Lokalita 18	2,20	1,48	0,52	1,38	1,93	0,64
Lokalita 19	3,65	2,55	1,28	3,43	5,22	1,63
Lokalita 20	3,90	1,95	0,86	3,93	5,32	1,40
Lokalita 21	2,79	2,25	0,89	4,32	4,29	0,94
Lokalita 22	3,57	1,66	0,86	5,39	6,46	1,25
Lokalita 23	5,10	2,26	1,38	12,38	13,11	2,20
Lokalita 24	5,29	3,65	0,94	2,17	3,00	1,16
Lokalita 25	2,37	1,66	0,65	1,99	4,11	1,38
<b>Průměr</b>	6,38	3,69	1,92	8,95	29,80	6,49
<b>směrodatná odchylka</b>	4,24	2,69	2,28	10,19	84,86	13,94
<b>medián</b>	5,34	2,83	1,28	4,32	5,32	1,91
<b>max</b>	18,12	11,65	10,57	47,43	408,15	62,13
<b>min</b>	2,20	1,48	0,52	1,38	1,93	0,64

Legenda:

EF < 2 states minimal enrichment,
EF = 2–5 moderate enrichment,
EF = 5– 20 significant enrichment,

EF = 20–40 very high enrichment

EF > 40 extremely high enrichment